



BUDAPESTI MŰSZAKI ÉS GAZDASÁGTUDOMÁNYI EGYETEM
KÖZLEKEDÉSMÉRNÖKI KAR
VASÚTI JÁRMŰVEK TANSZÉK

Chikán Gábor
SZAKMÉRNÖKI DIPLOMATERV

BUDAPEST
2010.

Motorvonat koncepció

a magyarországi keskenynyomközű vasutak számára

A dolgozat célja átfogó javaslatot adni arra, hogy a hazai keskenynyomközű vasutak járműfejlesztései során hol van helye motorvonatok üzembe állításának, és legfőképpen e járművek milyen műszaki elvárásoknak feleljenek meg, részletesebben kitérve a jármű néhány jellemzőjére.

Előszó, a témaválasztásról

A BME Közlekedésmérnöki Karán 1998-ban készített első diplomadolgozatom [12] a kisvasutak (keskenynyomközű vasutak) forgalomszabályozásáról, lényegében a jelzési és forgalmi szabályok kisvasutakra specializált újjáalkotásáról szól.

Később a Királyréti, Kemencei és Nagybörzsönyi Erdei Vasutak üzemvezetőjeként napi gyakorlatomban is e vasutakkal foglalkoztam, majd alapozva korábbi diplomadolgozatomra, 2004. évi hatálybalépéssel elkészítettem a kisvasutak Jelzési, Forgalmi és Gépészeti Utasítását [1].

Az erdei vasutak körében már 1998-ban komolyan felvetődött (a hivatkozott dolgozat 7.1.2 (65. oldal) fejezetében is említve) motorkocsi vagy motorvonat beszerzése a kisvasutak számára; ami később 2007-ben a kormányzat turisztikai szakállamtitkársága számára készített fejlesztési koncepcióba [13] is bekerült alapvető fejlesztési célként.

E dolgozatban a motorkocsi fontosabb műszaki paramétereire vonatkozó követelményeket gyűjtöm össze, amelyek – egy ilyen jármű megrendelése esetén – a gyártó számára a tervezés alapjául szolgálhatnak.

Tartalom

ELŐSZÓ, A TÉMAVÁLASZTÁSRÓL	2
TARTALOM.....	3
1 A KESKENYNYOMKÖZŰ VASUTAKRÓL (KISVASUTAK).....	6
1.1 VASÚTTÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉS	6
1.1.1 Iparvasutak	6
1.1.2 Erdei vasutak	6
1.1.3 Közcéllú vasutak	7
1.1.4 Gazdasági vasutak	7
1.1.5 További vasutak	7
1.2 SZOLGÁLTATÁSI FUNKCIÓK	8
1.3 VONTATÓJÁRMŰVEK TÖRTÉNETI ÁTTEKINTÉSE	8
1.3.1 A kezdetek	8
1.3.2 Motorkocsik megjelenése	9
1.3.3 Dízelmozdonyok	9
1.3.4 A jelenlegi járműállomány sajátosságai és fejlesztései.....	10
1.4 VONTATÓJÁRMŰVEK NAPJAINKBAN	11
1.4.1 Kisteljesítményű vasutak	11
1.4.2 Nagyteljesítményű vasutak.....	11
1.4.3 Egyedi esetek.....	12
1.4.4 Gőzmozdonyok.....	13
1.5 SZEMÉLYKOSCIK NAPJAINKBAN.....	13
1.5.1 Bax sorozat	13
1.5.2 Házi építésű kocsik.....	13
1.6 MOTORKOSCIK, MOTORVONATOK A KÜLFÖLDI KISVASUTAKON	14
1.7 A JELEN SZEMÉLYSZÁLLÍTÓ JÁRMŰÁLLOMÁNY RÉSZLETES JELLEMZŐI	14
1.7.1 Szerelvény-összeállítás, méretek, terhelés.....	14
1.7.2 Gépezeti jellemzők	16
1.7.3 Utastér, utaskényelmi berendezések	17
1.7.4 Egyéb berendezések	17
2 A KISVASUTAK FEJLESZTÉSE	19
2.1 PÁLYA ÉS JÁRMŰFEJLESZTÉSEK SZÜKSÉGESSÉGE, LEHETŐSÉGE	19
2.1.1 Fejlesztések szükségessége.....	19
2.1.2 A fejlesztések lehetősége	19
2.2 HAZAI ELKÉPZELÉSEK MOTORKOCSI-BESZERZÉSRE	20
2.2.1 MÁV elképzelések	20
2.2.2 Az Országos Erdészeti Egyesület elképzelése	20
2.2.3 Az Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium koncepciója.....	21
2.2.4 Motorkocsi építés a Királyréti Erdei Vasúton	21
2.3 ELVÁRT SZOLGÁLTATÁSI JELLEMZŐK	23
2.3.1 Hivatásforgalomban	23
2.3.2 Turisztikai forgalomban.....	23
2.3.3 Az elvárható – közös – jellemzők	23
2.4 A JÁRMŰFEJLESZTÉSBE ÉRDEKELT VASUTAK	22
3 KERETFELTÉTELEK.....	23
3.1 SZABÁLYOZÁSI KÖRNYEZET	23
3.1.1 Tervezés, gyártás	24
3.1.2 Üzemeltetés.....	24
3.2 MŰSZAKI KORLÁTOK	24

3.2.1	<i>Nyomtáv</i>	24
3.2.2	<i>Vonalvezetés</i>	24
3.2.3	<i>Pálya-jellemzők</i>	25
3.3	GAZDASÁGOSSÁGI KORLÁTOK	26
3.3.1	<i>Menetjegykiadás</i>	26
3.3.2	<i>Beszerezendő mennyiség</i>	26
3.4	FORGALOM	27
3.4.1	<i>Utast forgalom</i>	27
3.4.2	<i>Feltételes megállók</i>	27
4	AZ ÚJ MOTORVONATOK ELVÁRT JELLEMZŐI.....	28
4.1	SZERELVÉNY-ÖSSZEÁLLÍTÁS, MÉRETEK, TERHELÉS	28
4.1.1	<i>Szerelvény-összeállítás</i>	28
4.1.2	<i>Járműszerkezet</i>	32
4.1.3	<i>Befogadóképesség</i>	32
4.1.4	<i>Szerkesztési szelvény</i>	39
4.1.5	<i>Padlómagasság</i>	39
4.1.6	<i>Tengelyterhelés</i>	40
4.2	GÉPEZETI JELLEMZŐK	41
4.2.1	<i>Tömeggyártott elemek alkalmazása</i>	41
4.2.2	<i>Teljesítőképesség</i>	42
4.2.3	<i>Gépezeti jellemzők</i>	43
4.2.4	<i>Fékberendezés(ek)</i>	45
4.3	BELSŐ TEREK, BERENDEZÉSEK	45
4.3.1	<i>Utastér elrendezése</i>	45
4.3.2	<i>Mozgásukban korlátozottak közlekedése</i>	46
4.3.3	<i>Ajtók, ablakok</i>	47
4.3.4	<i>Fűtés-szellőzés</i>	48
4.3.5	<i>Vezetőállás</i>	48
4.4	EGYÉB BERENDEZÉSEK	49
4.4.1	<i>Vonókészülék</i>	49
4.4.2	<i>Vezérlés, vezérestechika</i>	49
4.4.3	<i>Éberségi és vonatbefolyásoló berendezés</i>	51
4.4.4	<i>Adatrögzítők</i>	51
4.4.5	<i>Utastájékoztatás</i>	52
4.4.6	<i>Külső megjelenés</i>	52
5	KÖZLEKEDÉS SZIMULÁCIÓJA	53
5.1	A VASÚTI PÁLYÁK.....	53
5.2	A MODELL.....	53
5.2.1	<i>Alapok</i>	53
5.2.2	<i>A vezérlőfüggvény megválasztásának figyelembevétele</i>	55
5.2.3	<i>Numerikus módszer</i>	55
5.3	A SZÁMÍTÁS MENETE	56
5.3.1	<i>A vezérlőfüggvény megválasztása</i>	56
5.3.2	<i>Kifuttatás</i>	59
5.3.3	<i>Megállóhelyek</i>	59
5.4	AZ ELJÁRÁS FELHASZNÁLÁSA.....	60
5.4.1	<i>Menetrend</i>	60
5.4.2	<i>Terhelés-állapotok</i>	60
6	ÜZEMELTETÉSI HÁTTÉR.....	64
6.1	KARBANTARTÁS, JAVÍTÁS ELVE.....	64
6.2	FENNTARTÁSI MŰHELY	64
6.3	MEGBÍZHATÓSÁGI KÖVETELMÉNYEK	65
6.3.1	<i>A meghibásodások következményei</i>	65

6.3.2	A tartalékállomány meghatározása	65
6.3.3	Gyakorlati alkalmazás	67
7	KÖLTSÉGEK ELEMZÉSE, GAZDASÁGOSSÁGI VIZSGÁLAT.....	70
7.1	A MOTORVONATOK KÖLTSÉGEI.....	70
7.1.1	Beruházás	70
7.1.2	Üzemeltetés	70
7.2	A MOTORVONATOK HATÁSA A BEVÉTELEKRE.....	72
7.3	A MEGTÉRÜLÉS MÓDJAI	72
7.3.1	A relatív megtérülés becslése.....	73
7.4	A MEGTÉRÜLÉS SZÁMÍTÁSA	73
8	ÖSSZEFOGLALÁS.....	74
8.1	A JÁRMŰVEK SZÜKSÉGESSÉGE	74
8.2	KÖVETELMÉNYEK A JÁRMŰVEL SZEMBEN	74
8.2.1	Szerelvény-összeállítás, méretek, terhelés.....	74
8.2.2	Gépészeti jellemzők.....	75
8.2.3	Belső terek, berendezések	76
8.2.4	Egyéb berendezések	77
9	HÁTTÉRANYAGOK.....	79
9.1	RÖVIDÍTÉSEK	79
9.2	IRODALOM	79
9.3	SZÁMÍTÁSTECHNIKAI HÁTTÉR.....	81
9.4	MELLÉKLETEK	81
9.5	ÁTTEKINTŐ ADATOK.....	82

1 A keskenynyomközű vasutak (kisvasutak)

A keskenynyomközű vasutak, egyszerű szóhasználattal és a továbbiakban kisvasutak, a normál nyomtávnál keskenyebb nyomtávú vasutak.

Ott építették őket, ahol vasúti közlekedésre volt szükség, de normál nyomtávú vasutak építését

- a terepviszonyok nem tették lehetővé,
- vagy a várható alacsony forgalom nem tette volna gazdaságossá.

Ennélfogva ezek a vasutak nagyon gyakran szokatlan vonalvezetési jellemzőkkel bírnak, és majd minden esetben csak alacsony utas és/vagy áruforgalmat szolgálnak ki.

1.1 Vasúttörténeti áttekintés

A magyarországi keskenynyomközű vasutakat a normál hálózat kialakulásával egy időben, már az 1800-as évek második felében elkezdték kiépíteni. Számos funkcióra létesítették őket, melytől függően történetük sok tekintetben eltérő is. Általánosságban elmondható, hogy az 1800-as években nehézipari, majd egyéb ipari, mezőgazdasági célokra létesültek, később jelent meg feladataik között (és sokszor építésük okaként) a közcélú személyszállítás (hivatásforgalom), majd már csak a XX. század második felében a turizmus. Magyarországon több, mint 4000 km kisvasút létesült.

A fejlődési sort egy hanyatlási időszak követte a XX. század végén: fokozatosan visszaszorult vagy teljesen meg is szűnt az árutovábbítás majd a hivatásforgalmú személyszállítás is; a kisvasutak nagy részét ennek nyomán felszámolták.

Ma csak 200 km vasútvonal van üzemben, forgalmuk döntő része a turisztikai célú személyszállítás.

1.1.1 Iparvasutak

Az első hazai kisvasutak, az 1870-80-as évektől létesültek elsősorban bányák, ipari létesítmények szállítási igényeire. Ezek csaknem mindvégig a kiszolgált ipari létesítmény saját vasútüzemeként működtek, és rendszerint a bányák, gyárak bezárásával együtt számolták fel őket.

1.1.2 Erdei vasutak

A XIX. század végétől jelentek meg az erdei vasutak, melyek már az erdőfeltárást, az erdei faanyag kiszállítását szolgálták: a ma üzemelő legrégebbi kisvasút az 1882-ben épített debreceni erdei vasút, ezek a vasutak azonban tömegesen csak a XX. század első felében épültek ki. Személyszállítási funkciót az 1950-es évektől hivatásforgalomban, majd a turizmus szolgálatában kaptak. Az erdőgazdálkodó szervezetek vasútüzemeként működtek és nagyrészt így működnek ma is.

Az 1960-80-as években többségükön megszűnt a faanyag szállítása, amelynek pedig személyszállítási jelentősége nem volt, vagy fenntartóik nem látták gazdaságosnak, azokat ezzel együtt fel is számolták.

Nagyon jelentős csoportját jelentik a kisvasutaknak, hiszen a ma üzemelő vonalak jelentős része erdei vasút, illetve a kisvasúti utazások döntő része erdei vasutakon bonyolódik. A dolgozat témáját jelentő motorkocsik is elsősorban ezen kisvasutak számára jelenthetik a járműállomány megújítását.

1.1.3 Közcélu vasutak

A XIX-XX. századok fordulóján, és a XX. század első felében jelentek meg a közcélokot is szolgáló kisvasutak, melyek jelentősége már azonos volt egy normál nyomtávú mellékvonallal: a behálózott területeken bárki számára személyszállítást és áru fuvarozást végeztek. Az ország mai területén 7 hálózat alakult ki.

Önálló vasúttársaságként működtek az 1940-es évek végéig, amikor államosítva a MÁV¹ szervezetébe olvasztották őket. 1968-ban elhatározták felszámolásukat, amit 5 hálózat esetében hajtottak végre az 1970-es években, a megmaradt nyíregyházi és kecskeméti kisvasutakon 2009-ben vezettek be ún. üzemszünetet. Egyelőre lebeg az a kérdés, hogy ezt követi-e tényleges felszámolás, vagy újraindításuk még lehetséges-e.

1.1.4 Gazdasági vasutak

További nagy csoportja volt még a kisvasutaknak az elsősorban mezőgazdasági terményszállítást kiszolgáló gazdasági vasutak, melyek az előzőekkel egy időben kezdtek kiépülni. Fénykorukat az 1950-es években élték, amikor a korábban sok különálló szervezet kisvasútaját – a mezőgazdaság államosításához hasonlóan – központosított állami vállalatba összevonták, és számos új kisvasutat is létesítettek (pl. Balatonfenyvesi GV). Több bányászatot kiszolgáló kisvasút is bekerült a Gazdasági Vasutak szervezetébe.

Bár az 1950-es években még új vasútvonalak épültek, 1968-ban hozott döntés alapján az e csoportba tartozó vasutak csaknem mindegyikét felszámolták a fuvarozási feladataik közútra terelésével. Közülük mára kizárólag a Balatonfenyvesi GV egy rövid szakasza maradt fenn, illetve 2007-ben erdei vasútként lett felújítva és 2009-ben újraindítva a Szobi GV.

1.1.5 További vasutak

Érdekes színfoltot jelent a kisvasutak között néhány mezőgazdasági üzem saját belső vasútja, pl. a tömörkényi halastavak kb. 10 km hosszú halászati vasútja vagy a Hortobágyi Nemzeti Park halastavi vasútjából lett turisztikai bemutató kisvasút.

Az 1940-es évek végétől létesültek nagy számban úttörővasutak, melyek közül 5 maradt fenn. Kiemelt jelentőségű, és ma Magyarország legforgalmasabb kisvasútja a MÁV Zrt. Széchenyi-hegyi Gyermekvasút.

Mellettük ipari üzemek, elsősorban téglagyárak használnak még kisvasutat, belső anyagszállításra.

¹ a rövidítések a 9.1 fejezetben vannak összegyűjtve

1.2 Szolgáltatási funkciók

A személyszállítást végző kisvasutak ma (egyetlen kis forgalmú kivételtől eltekintve²) kizárólag turistaforgalmat szolgálnak ki, és az üzemeltetők kivétel nélkül ennek fejlesztésében gondolkodnak.

Mivel a jövő kérdéseinek elemzésére támpontot ad a múlt tényeinek áttekintése, érdemes a funkciók korábbi alakulását is áttekinteni, különös tekintettel arra, hogy egy jármű élettartama hogyan viszonyul a funkciók megváltozásának gyakoriságához.

A ma működő kisvasutak (döntően az erdei vasutak)

- építésüktől az 1940-50-es évekig kevés kivételtől eltekintve csak fa- és kőszállítást végeztek,
- az 1950-60-as években az árutovábbítási funkció mellett kiegészítő jelleggel mind több helyen indult meg a személyszállítás, eleinte jobbra hivatásforgalmi céllal,
- az 1960-70-es évektől a személyszállításon belül a turisztikai cél vált határozottabbá,
- az 1970-80-as években az árutovábbítás csaknem mindenütt megszűnt,
- az 1990-es évekre a nem turisztikai célú személyszállítás is megszűnt,
- jelenleg (néhány eseti kivételen túl) e kisvasutaknak kizárólag turisztikai funkciójuk van.

Ezen áttekintés rámutat arra, hogy a kisvasutak funkciói néhány évtizedenként megváltozhatnak, a korábbiak tehát nem utalnak arra (persze ki sem zárják), hogy egy funkció garantáltan évtizedekig állandó marad. Ez alapján a turisztikai funkció immár 20 éve fennálló szinte kizárólagosságának megváltozása is elképzelhető a következő évtizedekben, azaz nem célszerű az új járművet kizárólag turisztikai célra tervezni.

Itt és a továbbiakban a hivatásforgalom kifejezés pedig a nem turisztikai célú utazásokat jelenti, azaz elsősorban munkába, iskolába, egészségügyi és művelődési intézményekbe, stb. történő, nagyrészt rendszeres utazást.

1.3 Vontatójárművek történeti áttekintése

1.3.1 A kezdetek

Eleinte a kisvasutakon általános volt a lóvontatás, elsősorban a mezőgazdasági és erdei vasutakon. Ez sok helyen egészen az 1950-es évekig, néhány eldugottabb üzemből azonban akár az 1990-es évekre is fennmaradt.

A mozdonyvontatás azonban szintén egyidős a kisvasutakkal. A normál nyomtávú vasutakkal ellentétben azonban nagy arányban üzemeltek külföldi gyártók mozdonyai, bár a hazai gyártás is sok kiváló gőzmozdonytípussal látta el a kisvasutakat, sok példány épült exportra is.

² Balatonfenyvesi GV

A kisvasutak motorosítása először a személyszállításban jelent meg, motorkocsik üzembe állításával, illetve a kisebb üzemi vasutakon kisteljesítményű (nagy részt 5-15 kW) mozdonyokkal.

1.3.2 Motorkocsik megjelenése

Az első nagy lépést az jelentette, amikor a vasúti motorosítás hőskorában, már 1901 végén megjelentek a gőzmotorkocsik az Alföldi Első Gazdasági Vasút vonalán, ami akkor európai szinten is úttörő próbálkozás volt. Ahogy azonban áttörő eredményt a legtöbb országban nem értek el gőzmotorkocsikkal, nálunk is csupán néhány kisvasút tartotta őket üzemben.

Jelentős, és már tartósnak bizonyult lépés volt a Nyíregyházavidéki Kisvasutak benzin, illetve villamosmotorkocsis üzeme: az 1905-ben épült vasútvonal részben Nyíregyháza utcáin haladt, itt a kisvasutat villamosítva egyúttal városi villamos üzemet is kiszolgált, villamos motorkocsikkal. A fagáz és benzinmotoros főgépcsoporttal ellátott, villamos erőátvitelű motorkocsik áramszedőt is kaptak: így lehetővé vált, hogy ugyanazon vontatójármű a városban villamosként, a városon kívül pedig a nem villamosított vonalakon is közlekedjen. Ezzel a XX. század elején megvalósult az az integrált közlekedési rendszer, amelyet sok évtizeddel későbbi újrafelfedezése után ma karlsruhe-i modellként ismer a közlekedési szakma. Sajnos a nyíregyházi rendszer továbbfejlesztése nem történt meg, a berendezések elhasználódása, elavulása után 1969-ben a villamos üzemet felszámolták.

Szintén a nyíregyházi kisvasúthoz és motorkocsijaihoz kötődik a hazai kisvasutak legnagyobb menetrend szerinti sebessége: a balsai Tisza-híd megépítése után Nyíregyháza-Sátoraljaújhely között 60 km/h-val közlekedtek gyorsmotorkocsik, 1944-ig.

A nyíregyházi mellett más közcélú vasutak is állítottak üzembe motorkocsikat, belső égésű motoros járművekkel. Említésre méltó még a Lillafüredi ÁEV járműve, amely az egyetlen erdei vasúti motorvonat beszerzés volt: a lillafüredi Palotaszálló vendégeihez tervezetten előkelő kivitelű motorvonat két motorkocsi és 5 mellékkocsi beszerzését jelentette 1929-ben. A közülük fennmaradt A 02-602 psz. motorkocsi ma a hazai kisvasutak múltjának egyetlen üzemképesen megmaradt motorkocsija.

1.3.3 Dízelmozdonyok

Az első komoly dízelmozdonyt a szegedi kisvasútra szerezték be: 1929-ben 4 db, dízel-villamos erőátvitelű mozdony volt ez, 90 kW teljesítménnyel, de nagyobb mozdonybeszerzésre csak a kisvasutak az 1940-es évek végi államosítása után került sor.

Az 1950-es években gyors, kb. 10 éves dízelmozdony-beszerzési program következett, melyben több, mint 500 db mozdony beszerzésére került sor³ [17]. Az 1960-as évekre néhány vasútüzemet

³ a dolgozat szempontjából nem érdekelt bányá és ipari vasutakat, valamint csekély számú exportot is beszámítva 1946-1974 között 1325 db keskenynyomközű, mechanikus erőátvitelű dízelmozdonyt gyártottak Magyarországon.

leszámítva befejeződött a kisvasutakon a gőzmozdony-korszak, közel 20 évvel a normál nyomtávú hálózat előtt. A legnagyobb példányszámú, illetve jelentősebb típusok [14]:

1. táblázat: a jelentősebb kisvasúti dízelmozdonyok

Mozdony	Mennyiség	Jellemzők
C 50	kb. 265 db	Mechanikus erőátvitel, 38 kW
MD 40	kb. 250 db	Mechanikus erőátvitel, 30 kW
B 26	kb. 100 db	Mechanikus erőátvitel, 20 kW
Mk 48	52 db	Mechanikus és hidraulikus változat is, 100 kW
Mk 45	10+2 db ⁴	Hidraulikus erőátvitel, 331 kW

A járműállomány kifejezetten egységessé vált, ám kizárólag mozdonyvontatásra rendezkedtek be. A korábbi, elöregedett motorkocsik selejtezésével lényegében megszűnt a kisvasutakon a motorkocsi-üzem. Az egyetlen üdítő kivételt a budapesti Úttörővasút megépítése jelentette, ahol sor került ebben az időben új motorkocsik beszerzésére, de azok is csak az 1970-es évek elejéig voltak üzemben.

1.3.4 A jelenlegi járműállomány sajátosságai és fejlesztései

A kisvasutak járműveinek további fejlesztésére az 1950-es évek ismertített beruházását követően napjainkig nem került sor. Ennélfogva mára bár viszonylag egységes, ám rendkívül elavult és elhasználódott járműállomány jellemzi a vasutakat.

A járművek – és velük összhangban a vasutak – két fő csoportba sorolhatók:

- **kisteljesítményű vasutak / járművek:** döntően 20-30 ezer fő/év utasforgalmat bonyolítanak⁵, MD-40 és C-50 mozdonyokkal, házi építésű személykocsikkal, kézfékes szerelvényekkel.
- **nagyteljesítményű vasutak / járművek:** jellemzően 100-200 ezer fő/év utasforgalmat bonyolítanak⁶, Mk48 mozdonyokkal és Bax, valamint házi építésű személykocsikkal, légfékes szerelvényekkel.

⁴ 2 db-ot a Borsodnádasi Lemezgyár 1000 mm nyomtávú iparvasútjára szereztek be

⁵ kivételes eset a kisteljesítményű eszközparkkal működő Pálházi ÁEV 50 ezer fő/év forgalommal

⁶ kivételes eset a nagyteljesítményű eszközökkel működő debreceni Zsuzsi EV csak 30 ezer fő/év forgalommal

1.4 Vontatójárművek napjainkban

1.4.1 Kisteljesítményű vasutak

Jellemző mozdonyuk a kéttengelyes C-50-es típus. Dízelmotorja Csepel D413, majd utóbb „erősített” példányaiban D414 típusú, melyek 38-60 kW teljesítményűek. A motort elavultsága ellenére nagyon kedvelik a vasutak, mivel egyszerű és könnyen javítható, jól viseli a mostoha körülményeket, megbízható. Mind a mai napig oly mértékben elterjedt, hogy kritikus alkatrész beszerzési problémák sincsenek vele.



1. ábra: C-50 mozdonyok [15]

Az erőátvitel mechanikus, a motorral együtt a tengelykapcsoló és ötfokozatú sebességváltó is a Csepel tehergépkocsikéval azonos. Irányváltója homlokkerekes, a tengelyhajtóműbe építve, mindkét tengelye hajtott.

Fékezése kézi és lábpedál működtetésű, de a Lillafüredi ÁEV két mozdonyán 2000. után légféket is kiépítettek.

1.4.2 Nagyteljesítményű vasutak

Jellemző mozdonyuk a RÁBA által 1958-61 között gyártott MÁV Mk48 sorozatú, négytengelyes mozdony.

Dízelmotorja már csak az egyetlen fennmaradt mechanikus hajtásrendszerű példányban eredeti, 6 Js 13,5/17 Jendrassik 100 kW teljesítményű dízelmotor, a többi mozdonyban már a vasúti és közúti járművekben egyaránt elterjedt RÁBA D 2156



2. ábra: Mk48 mozdony

típusú, 110 kW-os motor.

Hajtásrendszere egy hidrodinamikus nyomatékváltóból és azt követő kétfokozatú sebességváltóból áll; amit a fokozatváltó és homlokkerekes irányváltó követ.

Fékezése önműködő és nem önműködő légfékkel történik, valamint a vezetőállás alatti forgóváz kézifékekkel is rendelkezik.

1.4.3 Egyedi esetek

1.4.3.1 A Gemenci ÁEV egyedi mozdonyai

A Gemenci ÁEV több alkalommal is vállalkozott C50-es mozdonyok átépítésével újszerű, új mozdonytípusok bevezetésére.

1990-91-ben 5 db mozdonyt a hajtásrendszer teljes cseréjével hidrosztatikus hajtására építették át. Rendkívül egyszerűen kezelhető, megnövelt teljesítményű mozdonyt kaptak (3. ábra, jobb oldalt).

1997-ben ezek egyikének felhasználásával (lényegében csak a főkeret maradt eredeti) készült el a C50Z (Z90) típusú, ismét mechanikus hajtású mozdony, mely elveiben az eredeti C-50 mozdonyokkal megegyezik, de korszerű elemekkel (3. ábra, középen).

2009-10-ben újabb két mozdony átépítésére került sor (bár inkább mondható új mozdonyoknak, hiszen csak a főkeret néhány tartója maradt részben eredeti), e két mozdony újra hidrosztatikus hajtást kapott (3. ábra, bal oldalt).



3. ábra: a Gemenci ÁEV mozdonyai

1.4.3.2 A LÁEV mozdony-fejlesztése

E sorok írásakor kezdődött meg a Lillafüredi ÁEV megrendelésére egy Mk48 sorozatú mozdony teljes átalakítása. A mozdony dízel-villamos hajtásrendszerrel épül, amely akkumulátoros energiatárolóval lesz kiegészítve. Ezzel a mozdony völgymenetben közlekedve a fékezési energiát az akkumulátorokba visszatáplálja, melyet később vontatásra (akár a dízel főgépcsoport álló helyzetében is) hasznosít. A dízel-villamos erőátvitel és az akkumulátorok beépítése ellenére a mozdony a gyártó számításai szerint könnyebb lesz, mint eredetileg volt.



4. ábra: A LÁEV mozdonya a gyártó csarnokában

1.4.3.3 A Királyréti EV motorkocsija

Lásd később, a 2.2.4 fejezetben.

1.4.4 Gőzmozdonyok

A gőzmozdonyok leváltása a kisvasutakon korán megtörtént, amikor a műszaki emlékek megőrzésére még nem fektettek nagy hangsúlyt, így a rendkívül sokszínű kisvasúti mozdonyállományból nagyobb számban csak 490-es sorozatú mozdonyok maradtak meg.

Jellemzőek még a resicai gyártású, 490,2000 sorozatba sorolt, a 490-eshez hasonlító mozdonyok, melyeket a nosztalgiaadivat 2000. körüli fellángolásakor szereztek be felszámolt erdélyi kisvasutakról. A mozdonyok azonban többnyire nem tudták kitermelni a magas üzemeltetési és fenntartási költségeiket, amiben szerepet játszott az üzemeltetői gazdasági környezet is, melyben az esetleg megtermelt eredményt más tevékenység felemésztette, nem lehetett a gőzmozdonyok üzemi feltételeibe visszaforgatni.

1.5 Személykocsik napjainkban

1.5.1 Bax sorozat

A változatos személykocsi-állományban csak egyetlen típus mondható elterjedtnek, a Bax sorozat. Ezeket 1948-1961 között építették Győrben és Debrecenben, eredetileg a MÁV kisvasutak számára (kb. 150 db), majd a 70-es évekbeli vasút megszüntetések nyomán kerültek tömegesen az erdei vasutakra is (5. ábra).



5. ábra: Bax személykocsi

A kocsi szerkezete megfelel építési korában az általános járműépítési elveknek, utastere azonban visszafogott megoldásokat tükröz: kályhafűtéses és fapados kivitelű. Befogadóképessége 52-56 ülőhely és 32 állóhely.

1.5.2 Házi építésű kocsik

Nagy példányszámban jellemzőek a kisvasutakra a döntően teherkocsik alvázára házilag épített személykocsik.

A leggyakoribb alap a Jah teherkocsi (6. ábra, bal kép), melyből sok változatban készültek személykocsik. Többek között e dolgozat készítője is elvi alkotója volt az egyik, azóta 6 példányban készült változatnak (6. ábra, jobb kép). Futástechnikai, féktechnikai szempontból örökölték a teherkocsi alapot (minimális fék-korszerúsítéssel), utasterük fapados, különböző elrendezésekben. Készült tető nélküli, nyitott változat, tetővel ellátott és teljesen zárt kivitel (kályhafűtéssel) is. Befogadóképességük változó, 50-80 férőhely.

Hasonló felépítéssel, de kisebb befogadóképességűek az erdei vasúti faszállító teherkocsikra épített személykocsik, de azok rendszerint csak kézfékesek.



6. ábra: Jah teherkocsi (Dombrád, járműkiállítás) és alvázára a Királyréti EV műhelyében házilag épített, 77 férőhelyes személykocsi

1.6 Motorkocsik, motorvonatok a külföldi kisvasutakon

Svájcban találjuk a legjelentősebb keskenynyomközű motorvonat-üzemet, ahol a vasúthálózat jelentős része 1000 mm nyomtávolságú, villamosított. Ezek azonban távol állnak a jelenlegi hazai kisvasutaktól, azok a vasutak nagyrészt hivatásforgalmat szolgálnak egy korszerű vasúti mellékvonaltól elvárható szinten.

Ausztriában egy kisvasút (Mariazell, villamosított) tart üzemben motorvonatot. Számos kisvasúton üzemelnek négytengelyes motorkocsik, melyek lehetővé teszik, hogy a mozdonyvezető egyedül is teljesíthet szolgálatot, a menetjegy – az autóbuszokhoz hasonlóan – nála váltható meg. Ezek dízel-villamos hajtásrendszerű, Bo'Bo' tengelyelrendezésű motorkocsik, 70 km/h legnagyobb sebességgel.

Lengyelországban az 1980-as években román gyártású négytengelyes motorkocsikat állítottak üzembe. Azok hidraulikus hajtásúak, B'2' tengelyelrendezéssel, 40 km/h legnagyobb sebességgel.

Görögországban a közelmúltban állt forgalomba 750 mm nyomtávú, részben fogaskerekű pályán új háromrészes keskenynyomközű motorvonat, melynek szerkezete, felépítése akár egy magyarországi megrendelés esetén is alapul vehető a gyártója részéről.

1.7 A jelenlegi személyszállító járműállomány részletes jellemzői

1.7.1 Szerelvény-összeállítás, méretek, terhelés

1.7.1.1 Szerelvény-összeállítás

A Magyarországon jelenleg közlekedő kisvasúti vonatok kivétel nélkül mozdonyvontatású szerelvények. Az összeállítás mozdony + személykocsi(k), ami meredekebb vonalvezetés és nagyobb utasforgalom esetén egy előfogat- vagy tolómozdonnyal egészül ki.

1.7.1.2 Befogadóképesség

A kisvasutakon jelenleg közlekedő személyszállító járművek befogadóképessége nagyon változó, a 88 férőhelyes Bax kocsi a legnagyobb. A vonatok férőhelyszáma a kocsik számának

megválasztásával, azok befogadóképességének lépcsőzésével jól igazítható az igényekhez, feltéve, ha a technológiai idők elegendőek a kocsi ki/besorozáshoz. Bonyolítja a szervezési és tolatási szükségleteket, hogy a mozdonyok vonóereje miatt a meredekebb pályájú vasutakon már 150-200 férőhely felett előfogat vagy tolómozdony is szükséges.

A bonyolult tolatási mozgások elkerülése érdekében előfordul (különösen, ha napközben nincs rá idő vagy hely), hogy üzemkezdtkor a legnagyobb forgalomhoz igazítják a vonathosszakat, ezzel egyes napszakokban felesleges kapacitások továbbítását előidézve.

Kedvezőtlen helyzetben vannak a kerekesszékhez kötött utasok, számukra csak nagyon kevés kisvasúton van alkalmas kocsi. A LÁEV egyetlen kocsija van felszerelve kerekesszék emelővel (a kocsi kifejezetten számukra van kialakítva), mely 4 db kerekesszék szállítására alkalmas. Más esetben kézzel kell a mozgáskorlátozottat székestül a kocsira emelni.

Kerékpárszállításra a legtöbb vasúton van lehetőség, külön megrendelésre besorozott teherkocsin vagy személykocsik nagyobb előterében.

1.7.1.3 Szerkesztési szelvény

A meglévő járművek nagyon vegyes képet mutatnak. A szabadon tartott úrszelvény is alapvetően nem konkrét méret-előírásokhoz, hanem az üzemeltetett járművekhez igazodik.

Kedvezőnek mondható azon vasutak helyzete, ahol a MÁV-tól átvett járművek (döntően Mk48 mozdonyok, Bax személykocsik, Jah teherkocsik) közlekednek, azok ugyanis kikényszerítik a szabványos úrszelvény, de legalább a (2500 mm széles) szerkesztési szelvény szabadon tartását.

Az egyedi járművekkel üzemelő vasutakon a szabadon tartott, tényszerűen rendelkezésre álló úrszelvény rendszerint a közlekedő járművekhez igazodik. (Pl. a Pálházi ÁEV vonalán a kőkapui kastély sziklája alatt 1903-ban épített alagút jelent szigorú méretkorlátot.) E vasutakon a vasút menti természeti vagy épített környezet is igazodott a használatos kisebb úrszelvényhez.

Külföldi keskeny nyomközű vasutakon már előfordul 2500 mm-nél szélesebb szerkesztési szelvény is. A befogadóképesség ezzel érdemben ugyan nem nagyobb, de jelentősen kényelmesebb az utastér, mivel 2500 mm szélességben 4 ülőhely és folyosó csak szűken helyezhető el.

1.7.1.4 Padlómagasság

Padlómagasság tekintetében csak „hagyományos” szerkezetű, magas padlós járművek közlekednek, az elterjedt Bax sorozat esetében ez (névleges értékben) 900 mm, a Jah teherkocsiból átépített kocsiknál 775 mm (pl. lásd 6. ábra). Hasonló magasságúak az egyéb egyedi járművek. Ez csaknem ekkora felszállási magasságot is jelent, ugyanis a peronok döntően sínkoronaszintűek, ritka az emelt, de a kocsik padlójától még mindig messze lévő peron.

1.7.1.5 Tengelyterhelés

A kisvasutakon dolgozó legjellemzőbb járművek tengelyterhelése (vontatott járműveknél rakottan):

kisteljesítményű vasutak

C50 mozdony	35 kN
egyedi személykocsik	kb. 20-30 kN

nagyteljesítményű vasutak

Mk48 mozdony	45 kN
490 gőzmozdony	kb. 55-65 kN
egyedi személykocsik	kb. 40 kN
Bax személykocsi	55 kN

egyedi eset

Mk45 mozdony ⁷	80 kN
---------------------------	-------

1.7.2 Gépezeti jellemzők

1.7.2.1 Teljesítőképesség

A mai kisvasutakon a legnagyobb megengedett sebesség 30 km/h, a gyakorlatban ki is használt csak 25 km/h⁸. Ezek az adatok a pályák állapotára és vonalvezetésére, illetve a turisztikai cél – talán sokszor túlértelmezett – „lassan járj, többet láatsz” elvére vezethetők vissza.

A járművek megengedett legnagyobb sebessége műszakilag 30-50 km/h lenne. Menetdinamikai szempontból a vontatójárművek vonatterheléshez képest alacsony teljesítménye szembetűnő, mivel sok esetben a pályára megengedett sebességet sem képesek kihasználni. Jellemző, hogy emiatt a vonatok hegymenetben akár tartósan az eleve is alacsony megengedett sebesség alatt közlekednek.

1.7.2.2 Gépezeti jellemzők

A kisteljesítményű vasutak elterjedt C-50-es mozdonyai tisztán mechanikus hajtásúak, a hajtásrendszeri elemek teljes mértékben kézi (illetve lábpedál) működtetésével. A nagyteljesítményű vasutak Mk48 mozdonyai hidrodinamikus hajtásúak, egy hidrodinamikus nyomatékmódosító után beépített kétfokozatú mechanikus sebességváltóval, és számos mechanikus elemmel az irány és fokozatváltóban, valamint az elosztóhajtóművekben és tengelyhajtásokban.

1.7.2.3 Fékberendezések

A kisteljesítményű vasutakon kézfékes járművek közlekednek, a mozdonyokon emeltyűs kézfék, a kocsikon klasszikus csavarorsós kézfék van.

⁷ csak a MÁV Zrt. Széchenyi-hegyi Gyermekvasúton közlekednek

⁸ a Nyíregyházi Kisvasúton leállítása előtt 40 km/h volt a megengedett sebesség, 80 évvel korábban 60 km/h

A nagyteljesítményű vasutak légfékberendezései azonosak a vasutakon általánosan elterjedt önműködő légfékrendszerrel. Két vasút, a Mátravasút és a MÁV Séchenyi-hegyi Gyermekvasút kiépítette a nem önműködő légféket is a vontatott járművekre.

A Gemenci ÁEV egyedi hidrosztatikus hajtású mozdonyai a hajtóművel képesek fékezni.

1.7.3 Utastér, utaskényelmi berendezések

1.7.3.1 Elrendezés

Az alkalmazott kocsik utastere néhány egyedi kivételtől eltekintve mind fapados. Az ülések elrendezése kétféle

- négy ülés szembefordításával kialakított páholyok, vagy
- a kocsik oldalai mentén hosszanti fapadok.

Az utóbbi elrendezés inkább a kocsik olcsóbb kivitele szempontjából előny, de viszonylag kis befogadóképességűek, kényelmetlenek, és a jó kilátás sem biztosított az utasok számára.

1.7.3.2 Ajtók, ablakok

A bejáróajtók minden esetben hagyományos kézi működtetésűek.

Az ablakok a zárt kocsik esetében általában teljesen lehúzhatók, ami nagyon fontos a turisztikai, erdei utazások során, és jól érzékelhetően kellemetlenül bezárt hangulata van annak a néhány kocsinak, ahol az ablakfelületnek csak kis része nyitható.

A természettől való elzártság hatását keltik azok a kocsik is, amelyeknél az oldalfalak arányában túlságosan kicsi az ablakfelület.

1.7.3.3 Fűtés-szellőzés

A kocsik fűtése általánosan kályhafűtés, majd minden esetben fatüzeléssel. Néhány korszerűsített kocsik rendelkezik csak légbefúvásos fűtőberendezéssel.

Gépi szellőzés vagy klímaberendezés nincs, de meleg időjárásban a zárt kocsik rendszerint nem is közlekednek.

1.7.4 Egyéb berendezések

1.7.4.1 Vonókészülék

A kisvasutakon egyetlen vonókészülék-típus terjedt el, a középütközős, nem önműködő ütköző-vonókészülék. Sajátos módon azonban annak is kétféle ütköző-magasság szabványa van.

A hegyi pályákon a közlekedési hatóság több esetben írta elő a vonókészülék mellett, azzal egyidejűleg összekapcsolandó biztonsági láncok, segéd-vonókészülék alkalmazását is, hogy az esetleges szétakadás ne vezessen balesetbe (bár ezt az önműködő légfék is hivatott kizárni).

Egyedi jelleggel a MÁV Zrt. Széchenyi-hegyi Gyermekvasúton félig önműködő vonókészüléket alkalmaznak (kedvező együttállás esetén az összekapcsolás önműködő). Csak a mechanikus kapcsolatokat biztosítja, a villamos és levegős csatlakozások kézzel kapcsolandók.

1.7.4.2 Vezérlés, vezetőállás

A meglévő járműveken távvezérlési lehetőség egyáltalán nincs kiépítve, vezérlőkocsi alkalmazására sosem került sor, a korábbi motorkocsik üzemében sem.

A vezetőállás éppen a legelterjedtebb nagyteljesítményű mozdony, az Mk48 sorozat esetében csak egyirányú és elsősorban álló testhelyzetű vezetésre van kiképezve.

1.7.4.3 Adatrögzítők

A jelenleg közlekedő kisvasúti járművek adatrögzítőkkel általában nem rendelkeznek. Csak a MÁV Zrt. mozdonyai rendelkeznek szalagos sebesség-regisztráló készülékkel, az erdei vasutakon az újonnan épített vontatójárműveket szerelik fel velük.

1.7.4.4 Utastájékoztató

Fedélzeti utastájékoztató lényegében nincs, kizárólag a kocsi utasterébe kiragasztott statikus hirdetések és a vonatkísérő személyzet szóbeli közlései állnak az utasok rendelkezésére.

1.7.4.5 Megjelenés

A járművek megjelenése nagyon változó képet mutat: a régiek esetében a vasutak igyekeztek megtartani azok régies, nosztalgiahangulatú megjelenését. Újabbak esetén van, hogy „mesterségesen” alakították őket régies hangulatúvá, más esetben a kialakítás és megjelenés kizárólag a közvetlen funkcionalitást szolgálja.

Színezésben régebben változatos színösszeállítás volt jellemző a vasutakra, majd mindnek volt valamilyen egyedi színvilága, újabban a „zöld erdőben zöld vonat” lett általánossá vált, egyhangú kép.

2 A kisvasutak fejlesztése

2.1 Pálya és járműfejlesztések szükségessége, lehetősége

2.1.1 Fejlesztések szükségessége

A kisvasutak jelen műszaki állapotát nagyon elavult, elhasználódott berendezések (pályák, járművek) jellemzik. Ezek üzemben tartása költséges, gyakori üzemzavarokkal jár. A szakma részéről ezért – a műszaki fenntarthatóság érdekében – régóta igény van a pályák, járművek korszerűsítésére.

A fejlesztések szükségességének másik oldala a szolgáltatásokban keresendő. Több vasútüzemben vannak jelenleg kihasználatlan, kihasználhatatlan lehetőségek a szolgáltatások fejlesztésre is.

A hivatásforgalmat kiszolgáló vasutak elhalását, felszámolását bizonyosan megalapozta az is, hogy az 1950-es évek műszaki színvonalán működő kisvasutak már vállalatlanok a korszerű utasterű és gyors autóbusz-közlekedéssel fennálló versenyhelyzetben – még ha vasúthoz közel állók időről-időre nosztalgiával emlegetik is, hogy mennyivel jobb volt a 30 éve felszámolt fapados (a 30 évvel ezelőtti autóbusznál még talán lehetett jobb). A hivatásforgalmi szolgáltatások megtartása, illetve ma már inkább újraélesztése elképzelhetetlen modern kisvasutak nélkül.

Turisztikában is van azonban igény a döcögő fapados által nem elérhető szolgáltatásokra, néhány jellemzőbb eset:

- a nem utazási nosztalgiát, hanem magát a célpontot kereső turisták igénylik a gyorsabb, kényelmesebb utazást;
- néhány vasúton 10-20% menetidő-csökkentés elegendő a sűrűbb, ütemes közlekedés bevezetéséhez, ami a meglévő eszközökkel nem érhető el;
- a gazdaságosabb üzem (pl. egyszemélyes kiszolgálás) lehetővé teszi az üzemidő kiszélesítését, kislevegalmú időszakokra is, ezzel több utasnak nyújtva az utazás lehetőségét;
- az esélyegyenlőségi szempontok átfogó érvényesítése már megoldható az új járművekkel.

2.1.2 A fejlesztések lehetősége

A megvalósításhoz az kell még, illetve az adja meg a lehetőséget, hogy a szakmai igényekkel a finanszírozók igényei és lehetőségei is találkozzanak.

Vannak természetesen olyan kisvasutak, ahol a szolgáltatásnak – a mai eszközök állapota miatti – fenntarthatatlanná válása csak a vasút csendes elpusztulását eredményezi, fejlesztési, felújítási forrásokat nem mozgat meg.

Másutt – pesszimista esetben – a fejlesztés elmaradása olyan szolgáltatás fenntarthatóságát veszélyezteti, amelynek felszámolása nem vállalható fel. Itt szűkebb, de többnyire csak felújításra

felhasználható források bevonására van elsősorban lehetőség, ami egy korábbi működőképes állapot helyreállítását és minimális technológiai fejlesztést tesz lehetővé. Természetesen a fenntartók, finanszírozók gazdasági helyzete jelentősen átértékelheti, hogy az egyes kisvasutak ebbe vagy az előző csoportba tartoznak-e.

Optimista megközelítésben egy fejlesztés viszont új, eddigieknél kiemelkedőbb szolgáltatásokat is lehetővé tesz. Ha a vasút kész a szolgáltatásait jól láthatóan bővíteni, megújítani, akkor nagyobb befektetéssel jelentős, előremutató változások is keresztülvihetők. A pályázati lehetőségek leginkább erre nyitottak.

A járműfejlesztés, pontosabban új járművek beszerzése az utóbbi a körbe tartozik: táplálkozik a műszaki elmaradottságok szülte szakmai igényekből, és támogatásra találhat a finanszírozóknál, ha együtt jár szolgáltatás-fejlesztéssel – a szolgáltatás-fejlesztésben rejlő lehetőségek által.

2.2 Hazai elképzelések motorkocsi-beszerzésre

Az előzőek folytán időről-időre felvetődő járműállomány korszerűsítések nagyrészt egységesek abban, hogy a korszerűsítés motorkocsik beszerzésével valósítandó meg.

Nem hallgatható el azonban, hogy a nosztalgikus hangulat érdekében komoly érvek vannak inkább a mozdony-állomány megújítása mellett (a meglévő kocsik megtartásával), vagy legalább olyan motorkocsi beszerzésére, mely a meglévő személykocsik vontatására alkalmas.

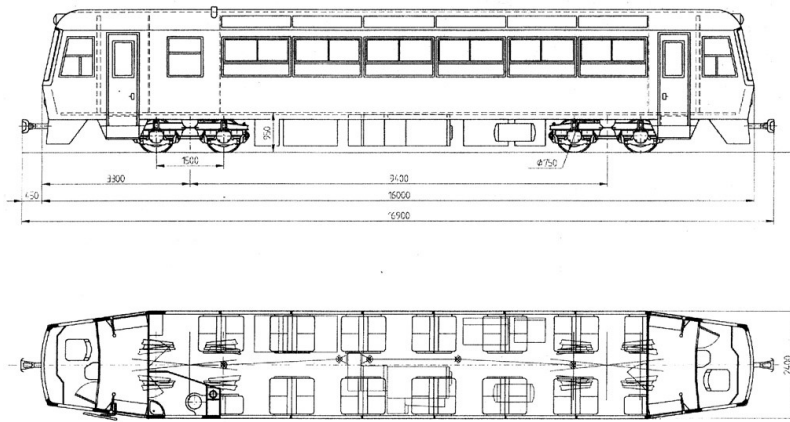
2.2.1 MÁV elképzelések

A MÁV Zrt., mint Magyarország legnagyobb vasúttársasága, bár 2009-ig kisvasutakban is nagy volt, komoly szándékkal a II. világháború után sosem foglalkozott keskenynyomközű motorvonatok beszerzésének lehetőségével. Amiatt is, hogy kisvasútjai körül az 1950-60-as évek óta folyamatosan a megszüntetés kérdései lebegtek, melyre 2009-ben sajnos kedvezőtlen pont is került.

2.2.2 Az Országos Erdészeti Egyesület elképzelése

A sok kisebb kisvasútból álló erdei vasutak már az 1990-es évek végén komolyan fontolóra vették a járműállomány ilyen korszerűsítést. 1998-ban az erdei vasutak közössége, az OEE Erdei Vasút Szakosztálya kidolgozott egy követelménysort motorvonatra való ajánlatkérés céljából.

A jármű műszaki koncepcióját a Ganz-Vagon kft. szakemberei elkészítették (7. ábra), de annak komolyabb továbbgondolását nem csak a finanszírozás bizonytalansága, hanem a járműgyártó felszámolása is megakadályozta.



7. ábra: A Ganz-Vagon kft. szakemberei által elképzelt motorkocsi jellegrajza (forrás: [16])

Az elgondolt járműszerkezet a Bax kocsi (5. ábra) fő méretein alapult, hossza – a vezetőállásokkal növelve – 16,9 m. Hajtása a mellékvonali Bz motorkocsikban is alkalmazott főgépcsoport, az erdei vasutak vonalvezetésére tekintettel az összes tengely meghajtásával. Néhány tervezett jellemzője:

Legnagyobb sebesség sík pályán	60 km/h
30‰ emelkedésben egy mellékkocsival	30 km/h
Bejárható legkisebb ívsugár	30 m
Saját tömeg (kb.)	18 t
Befogadóképesség	48 ülőhely
Padlómagasság	950 mm

Érdekesség, hogy az OEE részéről – az olcsóbb megvalósítás érdekében – felvetődött a Bax személykocsi motorkocsivá átépítése is, melyre azonban műszaki elgondolás már nem készült. Hasonló átépítés – más járműből – azonban mégis megvalósult, a Királyréti Erdei Vasúton (2.2.4).

2.2.3 Az Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium koncepciója

A kisvasutak turisztikai funkciójára tekintettel, azt elismerve az ÖTM 2008-ban egy szakértői csoporttal elkészítette a minisztérium kisvasutakra vonatkozó koncepcióját [13].

Ez a koncepció a kisvasutak fejlesztési feladataiban első helyre teszi a járműállomány korszerűsítését, motorvonatok üzembe állításával, néhány műszaki feltétel vázlatos rögzítésével.

A javasolt járműnek meg kell felelnie síkvidéki vasutak nagyobb sebességű, hivatásforgalmat kiszolgáló közlekedéséhez, és a nehéz hegyi pályákon való turisztikai szolgáltatásokhoz is (akár egy alaptípus több változatban való gyártásával). A kialakítás egy négytengelyes motorkocsi, melynek – a turisztikai forgalom sajátosságai miatt – alkalmasnak kell lennie nem csak saját mellékkocsijai, hanem hagyományos személykocsi vontatására is.

2.2.4 Motorkocsi építés a Királyréti Erdei Vasúton

Pályázati forrásból 2010-ben 1 db egyedi motorkocsi (8. ábra) épült a Királyréti EV házi műhelyében, de tervezése nem alapult átfogó koncepcióra.

Teherkocsi alvázára, a korábban ugyanott épített személykocsi konstrukciója alapján készült (6. ábra). A motor az utastér közepére került, hosszanti ülések alá. A vezetőállások a kocsi két végén a jármű sarkában vannak, a bejáróajtók mellettük, de így csak a jármű egyik oldalán vannak.



Hajtásrendszere hidrosztatikus, az egyik – teherkocsi forgóvázából átépített – forgóváz két tengelye van meghajtva $B_0'2'$ tengelyelrendezést eredményezve.

8. ábra: a Királyréti EV motorkocsija még építés alatt

2.3 A járműfejlesztésben érdekelt vasutak

A motorkocsik vagy -vonatok beszerzése elsősorban azokon a kisvasutakon reális, ahol

- az utasforgalom elegendően nagy (vagy fejlesztés után nagy lesz) az értékes jármű gazdaságos kihasználására,
- a szükséges illetve tervezett szolgáltatási jellemzők kifejezetten megkövetelik egy korszerű jármű üzembe állítását (pl. munkába járás),
- a vonalvezetési adottságok a járműre nem kényszerítenek rá olyan korlátozó feltételeket, amelyek más vasutakon kompromisszumot kizáró mértékben rontanák a gazdaságos kihasználhatóságot (pl. egyedi kis űrszelvényű alagúthoz⁹ tervezés).

Ezek alapján a továbbiakban azzal számolhatunk, hogy a járművek (elsősorban a korábbiakban főként „nagyteljesítményű”-ként is említett) turisztikai kisvasutakon állíthatók üzembe (Debrecen, Lillafüred, Gyöngyös, Királyrét, Szob, Húvösvölgy, Csömödér, Gemenc), valamint az üzemem kívüli kisvasutakkal kapcsolatos állami döntésektől (végleges felszámolás / újraindítás) függően hivatásforgalmat kiszolgáló kisvasutakon (Nyíregyháza, Kecskemét).

⁹ Pálházi ÁEV kőkapui alagútja

3 Keretfeltételek

3.1 Elvárt szolgáltatási jellemzők

Mint a történeti áttekintés (1.2) is kitért rá, a követelmények meghatározásakor a vasúti rendszer sokoldalúságát (vagy átalakíthatóságát) nagyon szem előtt kell tartani, ez pedig a járművek turisztikai és hivatásforgalmi funkciókra való legteljesebb egyidejű alkalmasságát, vagy könnyű átalakíthatóságát jelenti. Az elvárható szolgáltatások viszont eltérőek a két funkció esetén.

3.1.1 Hivatásforgalom

Az utazók célja, hogy a lehető leggyorsabban, legolcsóbban és legkényelmesebben eljussanak úti céljukhoz, minimális rá- és átszállási gyaloglással, számukra az utazás nem élmény, hanem egy szükséges rossz. Egy munkába járó évente 500-szor száll fel a vonatra!

A jármű esetleges muzeális jellege érdektelen, ellenben fontos, hogy kényelmes legyen, azaz ne legyen maradandó „élmény”, az utastársaktól (néhány fős rendszeresen együtt utazó csoportokon túl) és a környezettől (hideg/hőség) függetlenül utazzanak.

3.1.2 Turisztikai forgalom

Az utazók élményszerzés céljából utaznak, amit megkaphatnak egy konkrét célponton, vagy élmény lehet maga az utazás is. Utóbbi akár szűkebb értelemben a járművön (érdekes jármű, fedélzeti szolgáltatások), vagy tágabb értelemben az utazás környezete (pálya menti táj, látnivalók, erdei környezet).

Azon utasok, akik turisztikai élményeikre egy konkrét célponton vágnak, az utazás során jobbra a hivatásforgalomhoz mérhető igényekkel ülnek vonatra.

Más esetben a gyorsaság helyett legyen elég idő élvezni az utat, és az utas maradandó élményt vár. A jármű különlegességére fel lehet figyelni, a mindennapokban kényelmetlen megoldások (fapados utastér) még vonzóak is lehetnek. Jellemző a társasággal utazás, kell az „út közben is együtt vagyunk” élménye. Az utas a környezettől (erdő) nem elkülönülni akar, hanem benne lenni.

3.1.3 Az elvárható – közös – jellemzők

A két, láthatóan erősen ellentmondásos követelményrendszer közösítésére több lehetőség is van, de figyelve arra, hogy a hivatásforgalom sokkal érzékenyebb a szolgáltatás hiányosságaira, tehát az sok tekintetben kényszerűen kompromisszumképtelen:

- a szigorúbb követelmény figyelembe vétele, amennyiben az a másik funkciónál nem okoz ellenérdekeltséget,
- olyan követelmény, mely egyik vagy mindkét funkcióban még kompromisszumként elfogadható,

- fő jellemzőiben egy alaptípus, részleteiben több kivétel lehetősége.

3.2 Szabályozási környezet

3.2.1 Tervezés, gyártás

A szabályozási környezet járműfejlesztésre is hatással lévő legfontosabb eleme az Országos Vasúti Szabályzat (OVSZ), mely összefoglalja a vasutak, vasúti berendezések létesítésének legfontosabb követelményeit. Külön fejezet foglalkozik kifejezetten a járművekre vonatkozó előírásokkal.

Jelenleg az *országos közforgalmú és saját használatú* vasutakra érvényes OVSZ-t¹⁰ az érdekeltek „jobb híján” alkalmazzák a kisvasutakra is. A vasúti jogszabályok félkész átalakítása folytán ugyanis olyan – elvileg átmeneti – fogalmi zavar alakult ki, melyben a *térségi vasút* besorolást kapott kisvasutakra ez valójában nem lenne hatályos.

Folyamatban van azonban az OVSZ megújítása, melynek munkaanyagában a kisvasutak szabályai önálló kötetbe kerültek [2]. Mivel ennek hatályba lépése várható és időszerű, így egy járműkonceptió előkészítéséhez már indokolt az új szabályok tervezetét figyelembe venni.

3.2.2 Üzemeltetés

A járművek üzemeltetésére átfogó jogszabályok nincsenek, ez a kérdés vasúttársasági szinten szabályozott, illetve szabályozandó. A gyakorlatban azonban e szabályok precíz megalkotásával a kisvasutak többsége még adós.

A vasútbiztonsági tanúsítványok problémaköréhez kapcsolódva azonban a közlekedését felelős minisztérium elkészítette a kisvasutak átfogó üzemeltetési szabályzatát (egyelőre szintén csak munkaanyag), jogszabályként való kihirdetésre várva [3]. Ennek „E” kötete részletezi a járművek üzemeltetésének, fenntartásának szabályait.

3.3 Műszaki korlátok

3.3.1 Nyomtáv

A meglévő, személyszállítást végző kisvasutak nyomtávja jelenleg 600 és 760 mm. A 600 mm azonban csak két, kis forgalmú vasút nyomtávja¹¹, a motorvonat-beszerzés szempontjából figyelmen kívül hagyható.

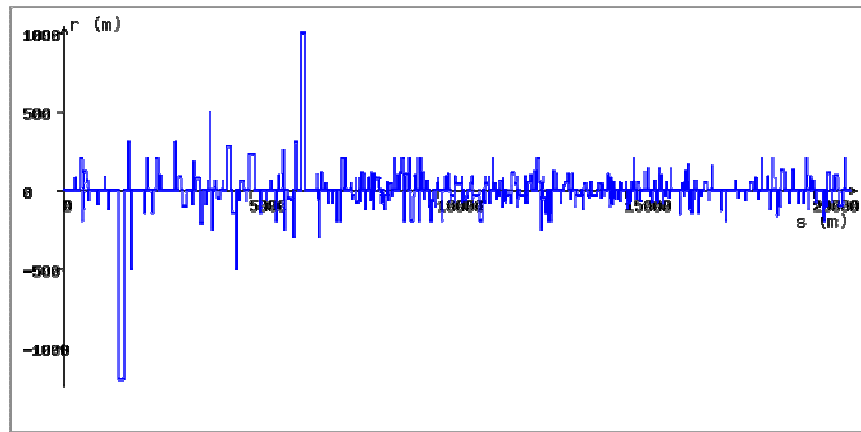
3.3.2 Vonalvezetés

A kisvasutak vonalvezetése olyan követelményeket, kereteket ad a járműtervezőknek, amelyek nagy mértékben eltérnek a normál nyomtávú vasutaktól.

¹⁰ a hagyományos vasúti rendszerek kölcsönös átjárhatóságáról szóló 103/2003. (XII. 27.) GKM rendelet

¹¹ Almamelléki ÁEV, Kemencei Erdei Múzeumvasút

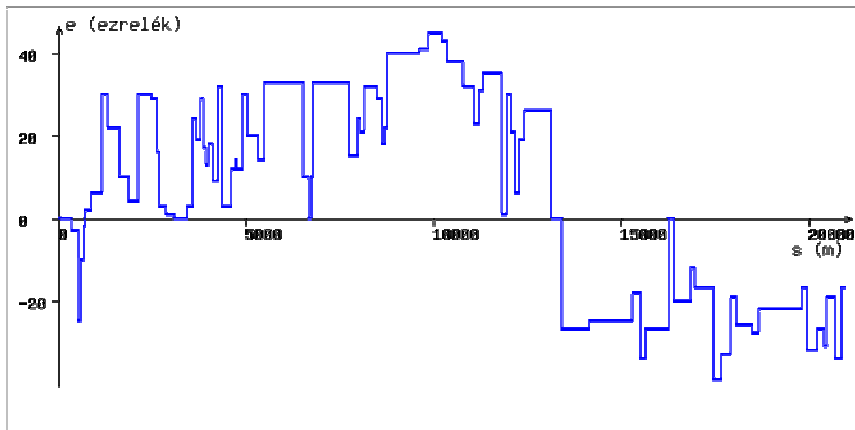
A **legkisebb ívsugár** 40 m, de néhány (akár korigálható) ívben 35 m is előfordul (9. ábra). Jellemző az ívek átmeneti ív nélküli csatlakoztatása, ellenívek inflexiós találkozása. Ez komoly kihívást jelenthet a járművek futásbiztonságára, ilyen inflexiós pontokon való tolt közlekedésre.



9. ábra: Ívsugarak a Szobi EV vonalán
(jobb ív: pozitív érték, bal ív: negatív érték, egyenes: 0)

A jellemző legnagyobb **emelkedés** 40-45‰, több km hosszban, tartós emelkedőként is előfordulhat (10. ábra). A legnagyobb szintkülönbségű vasútvonalak Gyöngyösön 280 m (14 km-en), és Szobon 300 m (12 km-en) vannak.

Jellemző, hogy az állomások, megállóhelyek is gyakran emelkedésben fekszenek, akár 20-40 ‰-ben is.



10. ábra: emelkedési viszonyok a Szobi EV vonalán

3.3.3 Pálya-jellemzők

A meglévő pályák állapota nem felel meg a mai építési szabályokban megköveteltnek, így viszont egy mai építési szabványokat maradéktalanul kihasználó jármű nem közlekedhetne rajtuk. Ez azonban mérlegelhető peremfeltételt jelent: a járműfejlesztési beruházáshoz kapcsolódva a szükséges fejlesztések, javítások elvégezhetők, de építhető olyan jármű is, mely ezen adottságokat figyelembe veszi.

Mivel egy járműbeszerzés nem járhat a teljes vasúthálózat átfogó felújításával, az aktuális műszaki állapot nem hagyható figyelmen kívül.

3.3.3.1 Űrszelvény

A kisvasutak 3300 mm széles űrszelvénye alkalmas a jelenlegi 2500 mm széles szerkesztési szelvényű járművek közlekedéséhez. Ez az űrszelvény a motorvonatokban érdekelt vasutakon

biztosított, sőt, néhány vasút ugyan alkalmas ennél szélesebb úrszelvényre is. Másutt azonban a vasút menti épített környezet, műtárgyak ezt szigorúan behatárolják.

3.3.3.2 Tengelyterhelés

A vasúti pályák a járműveknél nagyobb szórást mutatnak, és megbízható adatok sem állnak rendelkezésre: a legtöbb vasútüzemben a pályák engedélyezése és dokumentálása során nem azok tényleges teherbírását, hanem a legnagyobb üzemi terhelést rögzítették, „*felesleges nagyobb engedélyezni, ha úgysem használjuk ki*” elven. Az így megengedett tengelyterhelés a motorvonatokban érdekelt vasutakon 50-125 kN; de a pályaszerkezet ismeretében állítható, hogy 60-70 kN tengelyterhelés csaknem mindenütt (esetleg kisebb felújításokkal) biztosítható, 80 kN már csak komolyabb beavatkozásokkal.

3.3.3.3 Peronok magassága

Magas peronokat csak ritkán építettek, az esetek többségében sínkorona-szintű peron, vagy feltöltés áll rendelkezésre. A legjobban kiépített állomás Lillafüred, ahol SK+300 mm peron, aluljárós megközelítéssel áll rendelkezésre. Új fejlesztésekben azonban szerencsére egyre gyakoribb a magas peronok építése – bár változó magassággal.

A járműbe történő vízszintes, vagy legalább kis magasságú belépés kívánalma esetén a beruházó vasutakon a megfelelő peronok kiépítése – járulékos fejlesztésként – elkerülhetetlen.

3.4 Gazdaságossági korlátok

3.4.1 Menetjegykiadás

A kislevegalmú időszakok gazdaságos kiszolgálása érdekében a járműnek támogatnia kell a mozdonyvezető általi menetjegykiadást, illetve ennek megfelelően az egyszemélyes kiszolgálást.

3.4.2 Beszerzendő mennyiség

Kevés a kisvasút és kevés járművet üzemeltetnek, így kedvező gazdasági, pályázati helyzetben is, összesen is csak kevés jármű beszerzése jöhet szóba. Ahhoz, hogy a kis darabszám ne drágítsa jelentősen a járművet, fontos, hogy a vasutak lehetőleg azonos járművet igényeljenek, amelyhez a lehető legnagyobb mértékben értsenek egyet a jármű paramétereiben. Olyan elvárásokat kell támasztani, amelyek

- a legkevesebb kompromisszummal elfogadhatók minden vasúton (pl. bejárható legkisebb ívsugarú a legkedvezőtlenebb pályára tervezve),
- a legkevesebb szerkezeti egységben kell csak egyedi gyártással igazodni egyedi igényekhez (pl. utastér elrendezése).

3.5 Forgalom

3.5.1 Utasforgalom

A világban a motorvonatok üzembeállításának sok esetben oka, hogy a csökkenő forgalom ellenére is gazdaságos maradjon a személyszállítás¹², illetve a csökkenés az e járművekkel elérhető jobb szolgáltatások által megállítható legyen.

A hazai kisvasutak évtől, időjárástól befolyásoltan, de emelkedő-stagnáló forgalmat bonyolítanak, jó okunk van ezért arra tervezni, hogy növekvő forgalommal számolhatunk – de nem minden határon túl –, különös tekintettel arra, hogy e járművekkel olyan utasok is elérhetők lesznek (szélesebb üzemidő, jobb szolgáltatások), akik most nem veszik igénybe a kisvasutakat.

A turisztikai utasforgalom szezonalitása, sajátos eloszlása várhatóan nem változik meg, a forgalom arányos növekedésére a vasutak a következőképpen válaszolnak:

- a ma üzemszünetet jelentő, téli kis forgalmú időszakban is gazdaságos lesz a közlekedés,
- a tavaszi-őszi időszakokban a vonatok kihasználtsága javul,
- a nyári nagy forgalmú időszakokban nagyobb járatszám, sűrűbb közlekedés veszi elejét a zsúfoltságnak.

3.5.1.1 Kerékpárosok

Kerékpárral változóan veszik igénybe a vonatokat, de jellemzően legfeljebb 4-6 kerékpárral lehet számolni. (Nagyobb létszámban többnyire csoportos utazás történik, melyet a vasút számára előre bejelenthetnek, elszállításukra külön intézkedés hozható.)

3.5.2 Feltételes megállók

Feltételes megállók alkalmazása a magyarországi vasutakon jelenleg csak a villamosok és kisvasutak gyakorlatában fordul elő: csökkenti az üzemanyag-fogyasztást, karbantartási költségeket, jelentősen megkönnyíti a menetrend betartását. A megállások jelzésére a kisvasutakon jelenleg egyedi megoldások vannak: a vonatkísérő menet közben kézjelekkel adja a mozdonyvezető tudtára, hogy hol kell megállni.

¹² értve ez alatt az elfogadható, finanszírozható veszteséget is

4 Az új motorvonatok elvárt jellemzői

A következőkben a motorvonatok fontosabb szükséges jellemzőit, azok indokoltságát tekintjük át, a szükséges mértékben vizsgálva megvalósíthatóságukat. A követelmények tömörebb, áttekinthető összefoglalása a 8.2 fejezetben olvasható.

4.1 Szerelvény-összeállítás, méretek, terhelés

4.1.1 Szerelvény-összeállítás

A motorvonati szerelvény-összeállításban előforduló alapelvek:

- kétvezetőállásos szóló motorkocsi, mely más kocsikat, mellékkocsikat, vezérlőkocsit vontathat, illetve több motorkocsi együtt is közlekedhet;
- iker-motorkocsi (azaz egyvezetőállásos motor + vezérlőkocsi zárt egységben), melyekből a szükséges számú jármű összekapcsolható;
- hosszú zárt motorvonat.

A hosszú zárt vonat lehetősége az utasforgalom eloszlása miatt (az év jelentős részében kis forgalom) felesleges kapacitások és járműtömegek mozgatását eredményezné (lásd még 4.1.3). Alapjárműként ezért kisebb befogadóképességű, rövidebb vonatok jöhetnek szóba, mint az iker-motorkocsi vagy az önálló motorkocsi.

4.1.1.1 Az elhelyezendő terek és a járművek hossza

Ha a jármű hossz-egységének egy 2x4 ülécsoportból álló szakaszt veszünk (közelítőleg az egyéb terek hossza is ehhez mérhető), akkor az elhelyezendő terek és az általuk elfoglalt szakaszok száma:

- | | |
|--|---|
| • vezetőállások | 2 |
| • oldalanként legalább 2 bejáróajtó, előterek, legalább egyik a peronnal azonos magasságú padlóval | 2 |
| • alacsonypadlós, többcélú tér kerekesszék, kerékpár, nagyobb csomagok számára | 1 |
| • géptér (az alacsonypadlós tér miatt a padló alatt gépek számára kevés hely marad, számolni kell azok padló fölé helyezésével is) | 1 |
| • WC helyiség | 1 |
| • és maga a hasznos ülőhelyes utastér | x |

Mindezt egyetlen motorkocsiba helyezve a jármű hossza $7 + x$ db szakasz lesz, ami kényelmes 1500 mm szakaszhosszt és csupán 32 ülőhelyet ($x=4$) számítva is 16 500 mm járműszekrény-hosszt

igényel. Ez a hossz már a lehetséges felső határt közelíti, továbbá a tengelyterhelése is kedvezőtlen lesz.

Megoldásként tehát az látszik, hogy

- egyes tereket más járműbe (mellékkocsi) kell áthelyezni (és felveti majd azt a kérdést is, hogy egyáltalán szükséges-e azokat mindig továbbítani is). Ilyen a WC és az alacsonypadlós tér. Az utóbbi még azzal az előnnyel is jár, hogy a padló alatti hely kb. 6 m³-rel is megnövekszik¹³, így mellékhatásként akár a padló feletti géptér is elhagyható lesz (de van gyártó, ahol ezt a megoldást előnyben részesítik);
- egyes terek szűkebbre vehetők, így pl. keskenyebb ajtók esetén ajtónként további fél hasznos szakasz, 4 ülőhely nyerhető;
- a szakaszok hossza 1500 mm-nél rövidebb is lehet, ezzel az előbbi jármű 40 ülőhelyes is lehet 1375 mm szakaszhossznál¹⁴.

Az első lehetőséggel élve és újragondolva a fenti táblázatot, a motorkocsi szekrényhossza 4+x szakaszra adódik, ami 32 ülőhelynél 12 000 mm, 48 ülőhellyel pedig a jelen jármű-üzemeltetési gyakorlatban felső határt jelentő 15 000 mm.

Mivel a járműnek nincs alacsonypadlós része, az akadálymentesség érdekében – első közelítésben elválaszthatatlan – tartozéka lesz a vezérlőkocsi (mellékkocsi) vagy eleve iker-motorkocsit kell alkotni.

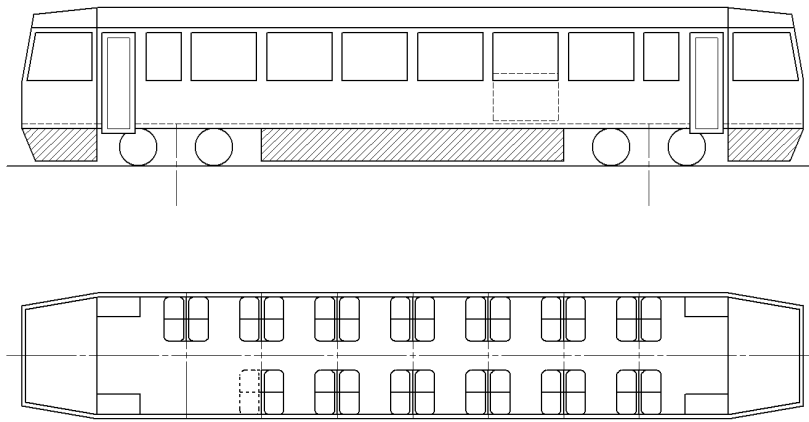
4.1.1.2 Kétvezetőállásos motorkocsi

Az 11. ábra elvi vázlatrajza egy lehetőséget mutat be motorkocsira (a járműben van 52 üh+30 áh):

- a padlómagasság lehetővé teszi a géptér padló alatti elhelyezését;
- az ajtók keskenyebbek, így ott további 4-4 ülőhely elhelyezhető;
- egy ülécsoport kihagyásával csomagter, kerékpárhely rendelkezésre áll.

¹³ 1500 mm szakaszhossz, 2500 mm széles szerkesztési szelvény és 850 mm padlómagasság esetén

¹⁴ ez lényegében azonos a Bax kocsi adatával (1366 mm), mely kényelmesnek azonban már nem mondható.

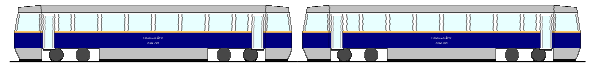


11. ábra: elvi vázlatrajz egy kétvezetőállásos motorkocsiról

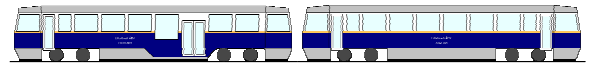
Mint fentebb szóba került, a motorkocsihoz elengedhetetlen a vezérlőkocsi kialakítása is, benne alacsonypadlós térrel. Egyebekben a jármű a motorkocsihoz hasonló szerkezettel megvalósítható.

A szerelvény összeállítása a forgalomnagyságtól függően lehet

1. csak a motorkocsi(k)



2. motorkocsi(k) + (mellékkocsi(k),) vezérlőkocsi



3. motorkocsi(k) + hagyományos kocsi(k)



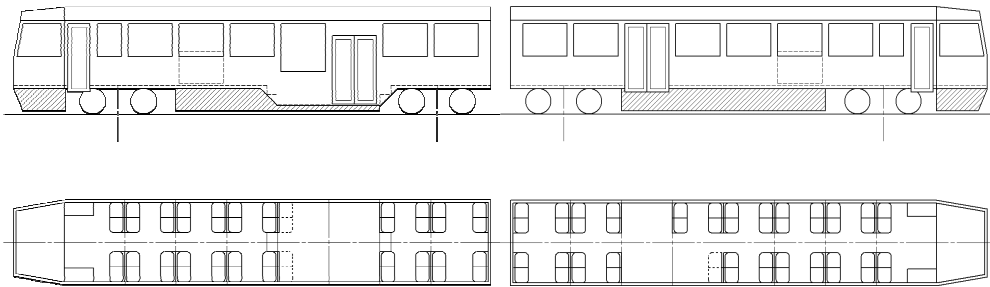
Esélyegyenlőségi szempontból az első eset vitatható, üzemgazdaságossági okokból viszont az üzemidő nagy részében kívánatos. Az esélyegyenlőség biztosítható oly módon, hogy ha ilyen utasok – a jelenlegi gyakorlathoz hasonlóan – utazásukat előzetesen bejelentik a vasútüzemnek, akkor eseti jelleggel utazásukhoz alkalmas kocsi a vonathoz kapcsolható a 2. lehetőség szerint.

Előnye még ennek a megoldásnak, hogy hagyományos kocsik vontatása esetén a nosztalgikusabb hangulatot kívánó utazási igények is kiszolgálhatók vele.

4.1.1.3 Ikerkocsi

Az 11. ábra elvi vázlatrajza bemutat egy lehetőséget ikerkocsira (a járműegységben 98 üh+62 áh van):

- a padlómagasság lehetővé teszi a motorkocsiban a géptér padló alatti elhelyezését és a vezérlőkocsiban az alacsonypadlós tér kialakítását;
- az ajtók a vezetőállások mögött keskenyebbek, ott további 4-4 ülőhely elhelyezhető és a jegykiadás is megoldható;
- a kocsin ezen túlmenően széles ajtó elhelyezhető;
- egy ülécsoport kihagyásával csomagter, kerékpárhely rendelkezésre áll.

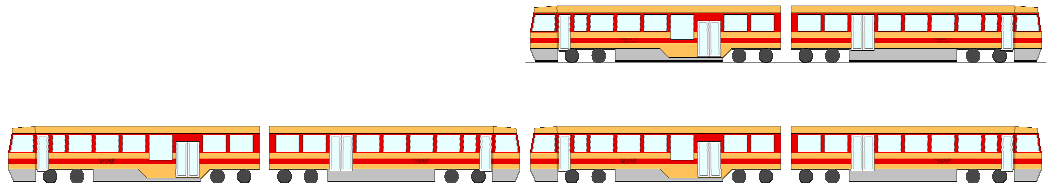


12. ábra: elvi vázlatrajz ikerkocsiról

A jármű az előző kétvezetőállásos motorkocsinhoz hasonló járműszerkezettel kialakítható, lényegében a vezetőállás elhagyásával.

A lehetséges összeállítás

1. ikerkocsi(k) (szükség szerint több összekapcsolva),



2. ikerkocsi(k) + hagyományos kocsi(k).



Ebben az esetben az esélyegyenlőség külön intézkedés nélkül is automatikusan teljesül, viszont kis forgalmú időszakban kedvezőtlenebb az üzem gazdaságossága és kevésbé reális a nosztalgikusabb hangulatot kívánó utazási igények kiszolgálása¹⁵. A vonat átjárhatósága folytán a jegyvizsgáló munkája könnyebb és hatékonyabb, mint két különálló kocsi esetében.

¹⁵ három kocsinál kevesebbet kívánó forgalomnagyságnál hagyományos kocsi továbbítása gazdaságtalan, illetve a körüljárást is egy hosszú vontatójárművel kell végezni, amire az állomások jelenleg nem alkalmasak

4.1.1.4 Választási szempont

Mindegyik megoldás magában foglalja a lehetőséget a járművezető általi menetjegykiadásra, feltéve, ha vannak közvetlenül a vezetőállás mögött bejáróajtók. A kisebb jármű e szempontból is kezelhetőbb, a járművezető jobban áttekintheti az utasokat.

A rövidebb jármű (motorkocsi) melletti döntés főbb lehetséges szempontjai:

- korlátozott pénzügyi keret a járműbeszerzésre,
- jelentős igény a hagyományos kocsikkal való közlekedésre (nosztalgiahangulat),
- jelentős arányban olyan alacsony a forgalom, hogy elegendő a kisebb jármű, stb.

A hosszabb jármű melletti döntés néhány szempontja az előbbiek ellentétén túl:

- fontos a szerelvény átjárhatósága,
- mozgásukban korlátozott utasok miatt gyakran szükség van az alacsonypadlós járműre, stb.

4.1.2 Járműszerkezet

A járműszerkezeti konstrukció megválasztását nem feltétlenül kell a megrendelőnek előírni, az előbbiekhez kapcsolódóan néhány pontban azonban érdemes rá kitérni.

Gyártott modulok

Az előbbi két szerelvény-koncepció szerkezetileg nagyrészt közös modulokra bontható: a vezetőállásokra és utasterekre, az utóbbiakra külön épített egységként szerelhetők a vezetőállások.

A két eltérő szerelvény-megoldás gyártása nagyrészt azonos szerkezeti egységekből megoldható, ami mérsékli a kis darabszám miatti magas gyártási költségeket. Természetesen az utasterekben ez esetben is adódnak kisebb eltérések, az ajtó és padlóelrendezés, illetve a kocsivégi átjárók, vonókészülék bekötés miatt.

Lépcsők

A vezetőállások mögötti bejáróajtók kényszerűen a forgóvázak fölé kerülnek, így külön ki kell méretezni, hogy a forgóvázak elfordulása a lépcsők között biztosított legyen.

Egyéb szerkezeti megfontolások

A kis mennyiség miatt egyedi minták, formák kialakítása drágább, ezért inkább az olcsóbban építhető, szögletesebb kocsiszekrények jöhetnek szóba – amint erre a fentebbi vázlatrajzok is utalnak.

Az alumínium járműszerkezet előnyei nem használhatók még ki, a szükséges profilok gyártása még nem gazdaságos, ezért várhatóan acélszerkezettel kell számolni.

4.1.3 Befogadóképesség

Az egyes – motorvonat beszerzésben érdekelt – vasutak jelenlegi és várható utasforgalmi igényeit alapul véve, a tervezendő befogadóképességnek két lényeges sarokszáma lesz:

- egy jármű férőhelyszáma (minimális vonatösszeállítás),
- egy szerelvény férőhelyszáma (maximális vonatösszeállítás).

A minimális érték meghatározása annak mérlegelését kívánja, hogy kisforgalmú időszakban csak kevés kihasználatlan férőhelyet kelljen továbbítani, ugyanakkor a túl kicsi járműnél adódó nagy fajlagos tömeg még ne legyen gazdaságtalan a nagy forgalmú időszakokban.

4.1.3.1 Teljes szerelvény

A maximális értéknél a vasutak legforgalmasabb napjainak közelítőleges kihasználtságából lehet kiindulni¹⁶:

2. táblázat: vonatok kihasználtsága

vasút	legnagyobb utasszám (fő)	
	legforgalmasabb vonat	legforgalmasabb 1% nélkül
Lillafüredi ÁEV	..	300
Királyréti EV	360 ₍₂₀₀₄₎	180
Gyöngyösi ÁEV	..	100
Debreceni EV	450 ₍₂₀₀₉₎	243
Gemenci ÁEV	216 ₍₂₀₀₈₎	169
Csömödéri ÁEV	..	150
Szobi EV	..	100

Kiindulhatunk abból, hogy a forgalom remélt emelkedése esetén arra a vasutak sűrűbb közlekedéssel válaszolnak, így ezek az értékek csak kicsit emelkednek (a terepviszonyokból adódó vágányhosszak miatt is korlátos a férőhelyszám-növelés lehetősége). A maximális követelmények jól teljesíthetők egy 100 ülőhelyesre méretezett alap szerelvényvel, melyből szükség szerint kettő vagy három távvezérelten összekapcsolható.

4.1.3.2 Egy jármű

Az utasforgalmi igényekhez a vonathosszal, a vonatba sorozott vonategységek számával lehet igazodni – függően egy járműegység befogadóképességétől. Egy konkrétan megválasztott járműegység-befogadóképességből pedig már következik, hogy az utasforgalmi igényekhez való igazodás során

- mennyi kihasználatlan férőhelye lesz kisebb forgalmú időszakban (különösen, ha túl nagy a befogadóképesség), illetve mekkora lesz az egy férőhelyre jutó tömeg (különösen, ha túl kicsi a befogadóképesség), ezek következtében mekkora jármű tömeget kell mozgatni,
- mennyi lesz a járműállomány egy férőhelyre jutó értéke,
- mennyi tolatási mozgásra van szükség, stb.

¹⁶ a vasútüzemek vezetőitől kapott tényleges vagy becsült adatok és részben saját becslés

A férőhelyszám megválasztásánál figyelembe kell még venni, hogy az állva utazás aránya minimális legyen.

4.1.3.3 A számítás menete

A következőkben konkrét utasforgalmi adatokból kiindulva megvizsgáljuk, hogy különböző járműváltozatok (befogadóképesség) esetén miként alakul a fentiek közül a továbbítandó járműtömeg, e tekintetben milyen férőhelyszámot fogadhatunk el optimálisnak.

A vizsgálat menete:

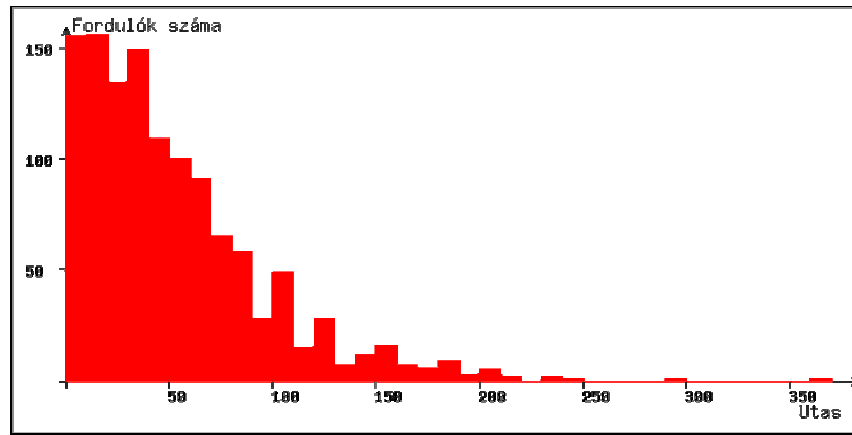
1. utasforgalmi adatok számbavétele, tekintettel a szerelvények fordulóra: egy fordulóban minden vonat azzal az összeállítással közlekedik, amely a legforgalmasabb keresztmetszeten indokolt (ha az utasforgalom az egyik keresztmetszeten indokol egy adott befogadóképességet, akkor forgalomtól függetlenül is rákényszerülünk a teljes forduló alatt a kapacitás mozgására).
2. az utasforgalomból következően szükséges vonat-összeállítás meghatározása az egyes szerelvényfordulókra, kiindulva különböző befogadóképességű járművek adataiból
3. az egyes vonatok utasforgalma és a meghatározott összeállítások alapján a továbbítandó járműtömeg és az állni kényszerülő utasok számának meghatározása.
4. az adatok értékelése, legkedvezőbb megoldás kiválasztása.

4.1.3.3.1 Utasforgalmi tényadatok

Vonatszintű utasforgalmi adatok több vasútról is rendelkezésre állnak, közülük a bemutatott számítás a Királyréti Erdei Vasút 2004. évének¹⁷ adatain alapul [9.4 / 7].

Az adatokból előállítjuk a szerelvényfordulók (egyszerű esetben vonatpárok) legforgalmasabb vonatának utasszámát, mely egyben a szükséges kapacitást is jelenti. Elkészíthető a kapacitásigény gyakorisága, melyben a konkrét vasút esetében a szerelvényfordulók a vonatpárok (13. ábra).

¹⁷ A királyréti forgalmi adatok 5-re kerekítve lettek becsülve, de a becslés szubjektív volt, feltűnően gyakoribb a tízzel osztható utasszám. Emiatt a gyakoriságot legalább 10 fős sávokban kell vizsgálni.



13. ábra: Szerelvényfordulók legnagyobb utasszámának gyakorisága a Királyréti EV-n

4.1.3.3.2 Vonatok kapacitásigénye az utasforgalomra alapozva

A következőkben abból indulunk ki, hogy a befogadóképesség tervezésénél az ülő- és állóhelyek összességével számolunk (ez ugyanis semmiképpen sem léphető túl). Mint látni fogjuk (4.1.3.3.4 fejezet), ez nem jelent majd tömeges álló utazásra tervezést, az utasoknak csak kis része fog állva utazni.

A kapacitások tervezésénél azzal az egyszerűsítéssel számolunk, hogy a vonatok felső 1%-át figyelmen kívül hagyjuk¹⁸.

Felvesszük utasszám szerinti növekvő sorrendben a szerelvényfordulókat a vízszintes tengelyre, jelölve az utasszámukat. Erre már felvehető egy adott befogadóképességű motorvonat-egység esetén a több egységből összeállított, teljes vonat befogadóképességek lépcsős függvénye. Peremfeltétel, hogy a biztosított kapacitás nem lehet kevesebb, mint a szükséges (14. ábra).

A számítás menete a k . szerelvényforduló esetén:

- $u_{k,i}$ utasszám a forduló i . vonatán (alapadatként rendelkezésre áll, felhasználva a szerelvényfordulók elosztását)
- f férőhelyszám egy vonategységen (a vizsgált jármű adata, azzal egyszerűsítve, hogy az egyes vonategységekben (motorkocsi, mellékkocsi, vezérlőkocsi) azonos számú férőhely van)
- n_k vonategységek száma a k . szerelvényforduló vonataiban
- F_k férőhelyszám a k . szerelvényforduló vonatain

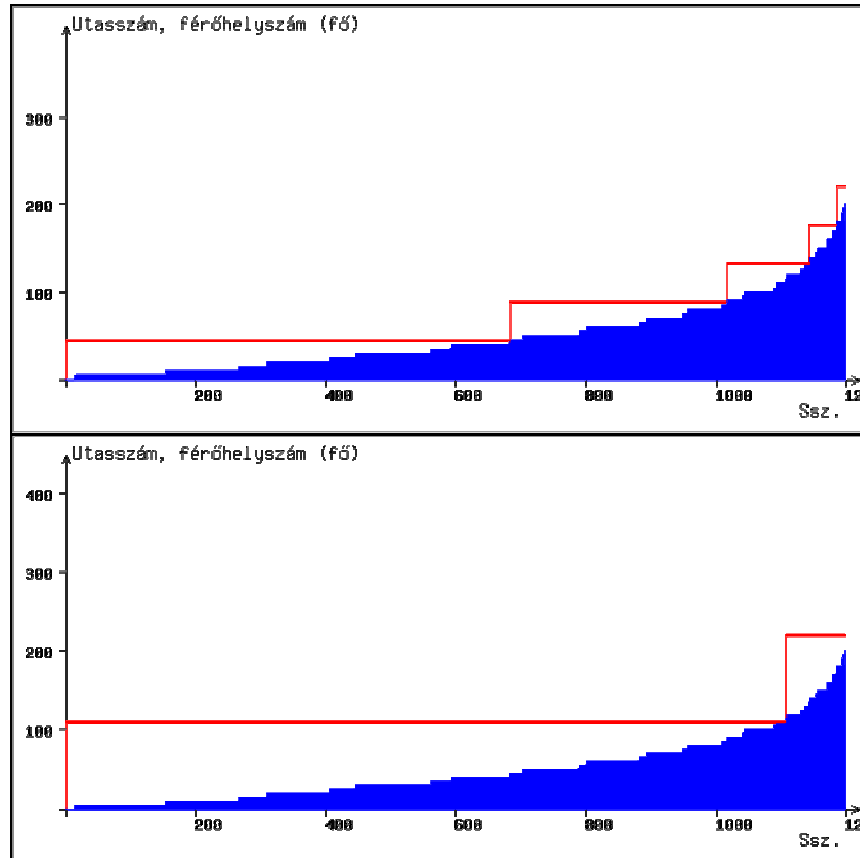
A vonategységek szükséges száma, a képletben felkerekítést alkalmazva:

¹⁸ A felső 1% azért is hagyható figyelmen kívül, mert a forgalom szezonális ingadozása és nagysága viszonylag stabil, míg az évi 2-4 napon (pl. húsvét hétfő, május 1., október 23.) előforduló, kiugró forgalmi csúcsok a tervezést megzavaró mértékű, kiszámíthatatlanul nagy ingadozást mutatnak, az ilyen üzemnapok kiszolgálása minden előretervezés mellett is egyedi forgalmi intézkedést kíván.

$$n_k = \max \left(1; \text{ker} \left(\frac{\max(u_{k,i})}{f} \right) \right)$$

A vonat férőhelyszáma:

$$F_k = n_k f$$



14. ábra: kapacitások biztosítása két különböző befogadóképességű vonategységgel

A kapacitásigény és a vonat kapacitásának értéke közti eltérés a mozdítandó felesleges kapacitást jelenti. Mérlegelést kíván, hogy:

- magasabb befogadóképességű vonategységek esetén több lesz a feleslegesen mozdított férőhelyszám és ezen keresztül a járműtömeg, végső soron pedig az energiafelhasználás,
- kisebb befogadóképességnél viszont a járművek egy férőhelyre jutó fajlagos tömege, beszerzési és karbantartási költsége lesz magasabb, továbbá bonyolultabb lesz a forgalmi technológia is a gyakoribb vonat-összeállítás változtatások miatt.

4.1.3.3 Mozdítandó járműtömeg

A fentiekből meghatározható, hogy a mozdított járműtömegre milyen hatással van a befogadóképesség.

A számításokban

- s a vasútüzem éves futásteljesítménye (vonatkilométer)
 $m(f)$ egy vonategység tömege, függ a férőhelyszámtól,
 $p_i(f)$ i db vonategység közlekedtetésének relatív gyakorisága, függ a férőhelyszámtól.

Az i db vonategységből álló szerelvény tömege $im(f)$ lesz, i db vonategységből álló szerelvények által befutott új $sp_i(f)$.

A továbbított járműtömeg tehát (pl. jármű-tonnakm):

$$M = \sum_{i=1}^{\infty} im(f) \times sp_i(f) \text{ vagy } s \text{ nélkül: } M^* = \sum_{i=1}^{\infty} im(f) \times p_i(f)$$

A vasútüzem éves futásteljesítménye (s) az összehasonlító számításokat nem befolyásolja, így ennek értéke valójában érdektelen, a későbbi számítások ezért a jobb oldali képletet használják.

A járművek $m(f)$ tömegének becslését a 4.1.6.1 fejezet tartalmazza.

4.1.3.3.4 Állva utazók száma

Az ülőhelyhez nem jutó utasokra érdemes még kitérni. Itt valamennyi utast figyelembe kell venni, nem elegendő a fordulók legforgalmasabb keresztmetszete. A k . vonatra vonatkozó számítás az alábbi:

- $u_{k,i}$ utasszám a k . forduló i . vonatán (alapadatként rendelkezésre áll)
 n_k vonategységek száma a k . forduló vonataiban (az előző számításokból)
 \bar{u} ülőhelyszám egy vonategységen (a vizsgált jármű adata)
 $\bar{U}_k = n_k \bar{u}$ ülőhelyszám a k . forduló vonatain
 $\hat{a}_{k,r} = \max(0, u_{k,r} - \bar{U}_k)$ álló utasok száma

Ezen \hat{a}_k értékek összegzésével megkapjuk az összes állni kényszerülő utas számát:

$$\hat{A} = \sum_{k,i} \hat{a}_{k,i}$$

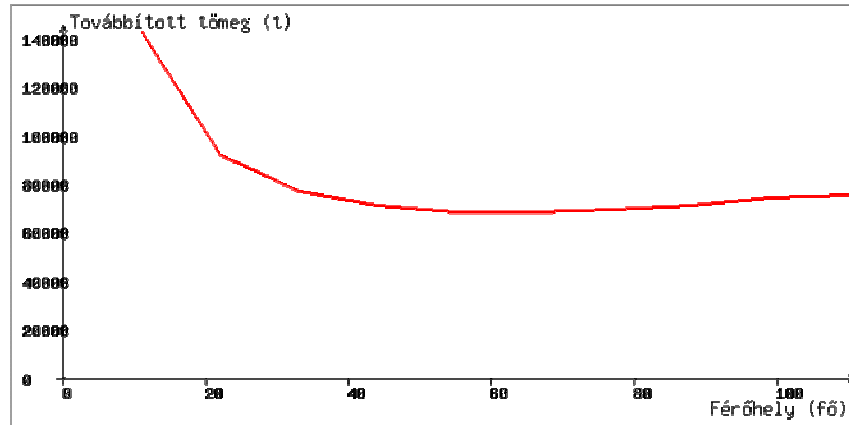
4.1.3.3.5 Jármű változatok összehasonlítása

A két vázolt számítás néhány konkrét befogadóképességgel elvégezve (A-C függvények a 4.1.6.1 fejezetben):

3. táblázat: továbbítandó járműtömegek

Férőhely (f)	Állva utazók (Á)		Továbbított járműtömeg (M*)		
	fő	összes utas %a	t		
			A	B	C
			tömegbecslő függvény mellett		
22	9329	13%	92080	84231	136010
33	6855	10%	77452	75148	106569
44	5449	8%	71442	72454	92583
55	4930	7%	68375	71779	84170
66	3969	6%	68437	73862	80571
77	3438	5%	69526	76761	78712
88	2706	4%	71400	80339	78083
99	2093	3%	74400	85073	78891

A továbbított járműtömegre vonatkozó adatokat az A esetre grafikusán a 15. ábra mutatja be.



15. ábra: jármű változatok összehasonlítása

Egy járműegység minimális befogadóképességét ezen gondolatmenetre és a Királyréti EV adataira alapozva legalább 40 üh+15 áh -nek kellene meghatározni. Más vasutakon természetesen más lehet az optimális ülőhelyszám.

Érdemes figyelembe venni, hogy a nagyobb befogadóképesség csak kis mértékben növeli a továbbítandó tömeget, viszont további előnyökkel járhat: kevesebb tolatási mozgás, kevesebb (fajlagosan olcsóbb) beszerzendő járműegység, stb. A kisebb befogadóképesség ugyanakkor gyorsan növeli a továbbítandó tömeget, ezért érdekesebb a vonatot a nagyobb forgalmú vasutak adataira tervezni (a 11. ábra egy 52 ülőhelyes motorkocsit mutat be). A jelentősen nagyobb forgalom pedig a motorkocsi helyett az ikerkocsi választását indokolja (a 12. ábra egy 98 ülőhelyes ikerkocsit mutat be).

4.1.3.4 Egyéb terek

Nincsenek rendelkezésre álló adatok arról, hogy a kerekesszékhez kötöttek részéről milyen utazási igények vannak a kisvasutakon. Ha a társadalomban lévő számarányukból (kb. 5% [18]) indulunk ki, és feltételezzük (ami túlzó feltételezés), hogy utazási gyakoriságuk az egészséges emberekével azonos, akkor ezen arány alapján 150 férőhelyes vonategységenként átlagosan 0,75 db kerekesszék férőhely szükséges. A két férőhely (egy pár utazása) így elegendő lesz – bár természetesen kockázat is, ha előre nem láthatóan többen utaznának.

A kerékpárral való utazáshoz vonatonként 4-6 db kerékpár-hely szükséges.

Számolni kell az utasok csomagjaival is. A megrendelők főképp turisztikai vasutak, ahol alkalmanként csoportosan érkeznek nagyméretű hátzissal utazók. Egy több napos túra során 40-60 literes hátzissákok a legjellemzőbbek, melyek elhelyezése biztosítandó (lásd még 4.3).

4.1.3.4.1 Állóhelyek

Az utastérben az ülőhelyek az utastér mindkét oldalán szembefordított 4-es csoportokban tervezhetők (4.3). Az ülés csoportok hossza kb. 1500 mm, közöttük az ülések méretéből adódóan kb. 500-600 mm széles folyosó marad szabadon, azaz minden 8 ülőhely mellett 0,75-0,90 m² szabad állhely lesz.

Ez a szabályok szerinti 4 fő/m² határértékkel 3 fő állóhelyet jelent minden 8 ülőhelyre.

A számítások ezen arányból indultak ki, de további állóhelyet jelent a többcélú tér, és az ajtók előtere. A számításokból való kihagyásuk tartalékot jelent a rendkívüli utasáramlatok esetére.

4.1.4 Szerkesztési szelvény

Az ideális járműnek két ellentmondó követelményt kellene teljesítenie:

- szerkesztési szelvénye legyen alkalmas arra, hogy bármely vasútvonalon közlekedjen,
- ugyanakkor a lehetséges szelvény legjobb kihasználásával, sőt, akár a mainál nagyobb szerkesztési szelvényt is legyen a jármű nagy befogadóképességű és kényelmes.

Kisebbszerkesztési szelvény választásával elérhető, hogy a jármű több vasúton üzemeljen, ám ezzel kihasználatlan lesz a nagyobb űrszelvényű vasutakban rejlő lehetőség. Nagyobb szerkesztési szelvény és ebből következően űrszelvény-követelmény mellett viszont komolyabb infrastruktúra-átalakítás is szükségessé válhat az üzembeállító vasutaknál.

A szabványos kisvasúti (OVSZ-ben meghatározott) szerkesztési szelvényt a 16. ábra mutatja be.

Kisebbszerkesztési szelvény alkalmazása nem szükséges, mert a motorkocsi üzembeállítása szempontjából szóba jöhető vasutak mindegyike megfelel az ilyen járművek fogadására, sőt, ott jelenleg is közlekednek ezt kihasználó kocsik.

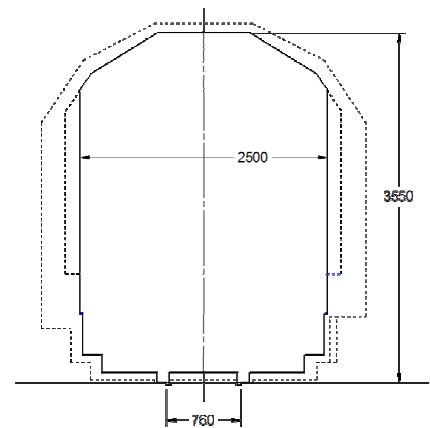
Szélesebb szerkesztési szelvény alkalmazására van már példa a

nemzetközi gyakorlatban 760 mm nyomtávon, hazai alkalmazhatósága azonban nehézségekbe ütközik, az infrastruktúra komolyabb átépítését kívánna (alagutak, más műtárgyak, épített környezet a vasút mentén).

4.1.5 Padlómagasság

A közösségi közlekedésben a kényelmes padlómagasságot rendszerint az alacsony padlóval kívánják elérni, valójában az utaskényelem, a mozgásukban korlátozottak közlekedésének kulcsa a peron-padló magasságkülönbség és távolság.

A kedvező állapot elérhető a jármű padlójának alacsonyításával és/vagy a peronok magasításával is; végeredményben a teljes utastér peronnal közel egyező magassága az ideális.



16. ábra: szerkesztési szelvény a legfontosabb méretek jelölésével

Az oldalsó szaggatott vonal a feltűzött lámpák megengedett körvonala, a külső vékony szaggatott vonal az űrszelvényt jelöli.

4.1.5.1 Peronmagasság

A peronméreteknek gátat szab a hagyományos járművek közlekedése, mely a motorvonatok üzembe állítása után is fennmarad.

Miattuk a peron magassága ugyan nem lehet SK+300 mm-nél magasabb, de ez egyben a hagyományos járművek esetén is egy kívánatos, elérendő érték. Következésképpen kiindulhatunk abból, hogy egy új jármű tervezhető ehhez, mint szükséges peronmagassághoz. Értelemszerűen a járműbeszerzési beruházásnak részét kell képezze a peronok szükség szerinti átépítése.

4.1.5.2 Padlómagasság

Az ideális belépéshez a padlónak ugyanehhez a magassághoz kell igazodnia, attól 40-50 mm-rel magasabban. Ahhoz azonban ez túl alacsony, hogy a jármű teljes terjedelmében való alkalmazása lehetséges lenne, a műszaki nehézségek illetve magas költségek miatt. Alkalmazható azonban a vasúti gyakorlatban szokásos, utastéri lépcsőkkel megosztott padlómagasság.

Az alacsony területen kell elhelyezni néhány ülőhelyet azon utasok számára, akiket illő mentesíteni a lépcsőmászástól, és a kerekesszékek férőhelyét, a kerékpárok, nagyobb csomagok terét.

4.1.6 Tengelyterhelés

A motorkocsikat üzembe állító vasutakon számításba vehető, pályára megengedhető tengelyterhelés 60-70 kN, melynek biztosítása – a motorvonat beruházáshoz kapcsolódóan – kisebb pályafelújításokat azonban igényelhet (lásd 3.3.3.2). Nagyobb tengelyterhelés már együtt járna a pályák jelentős részének átépítésével, komoly költségek mellett.

Ikerkocsi esetén a Jacobs-forgóváz elvileg lehetőség, de tengelyterhelési okokból nem reális.

4.1.6.1 Tömegbecslés

A motorkocsi tömegére egyelőre csak becslés adható. Kiindulási alap a különböző gyártók megvalósult motorkocsijai, azok hossz- és tömegadataira optimalizált lineáris függvény, az alábbi alakban:

$$m(l) = al + b$$

A vizsgált konkrét járműveinkre felállítható egy ülőhely-arányos hossz-függvény, a vizsgált esetben

$$l(u) = 4,5 + 1,5 \frac{u}{8}$$

A képlet kifejezi, hogy egy 8 ülőhelyes (2x2 + 2x2) szakasz hossza 1,5 m, és a vezetőállások, bejárók 4,5 m hosszát igényelnek. A számításokat természetesen csak 8-cal osztható ülőhelyszámra értelmes elvégezni.

Ezt összevonva az előző képlettel, ülőhely-arányos tömegbecslés keletkezik a vizsgált konstrukcióra:

$$m(u) = a^* u + b^* \text{ alakban.}$$

Mivel az alapul vett járművek utastér-elrendezése nagyon változó, azért érdemes e kétlépcsős megoldást választani, $m(u)$ közvetlen becslése helyett.

A referencijárművekből számított konkrét adatok mellett (A eset) azonban érdemes a becslést kipróbálni ennél laposabb (C) és meredekebb (B) tömegbecslésekkel is¹⁹.

4. táblázat: tömegbecslő függvények együtthatói

Eset	a	b	a*	b*
A	1,25	4,67	0,23	10,28
B	1,70	0,00	0,32	7,65
C	0,75	15,00	0,14	18,38

Megjegyzendő, hogy a becslés csak durva tájékoztató adat lehet, mivel az alapul vett járművek között – a rendelkezése álló minta miatt – több szélesebb szerkesztési szelvényű is van. Valószínűsíthető, hogy az így becsülhetőnél kisebb lesz a tényleges tömeg.

A korábban bemutatott járműváltozatokra ezzel a becsléssel az alábbi saját tömegek adódnak:

5. táblázat: becsült járműtömegek

változat	saját tömeg t	utastömeg t	elegytömeg t
40 ülőhelyes motorkocsi (4.1.3.3.5)	22,1-25,5	5,5	27,6-31,0
52 ülőhelyes motorkocsi (11. ábra)	24,0-26,6	6,5	30,5-33,1
98 ülőhelyes ikerkocsi (12. ábra)	2x 22,1-25,5	2x 6,5	2x 28,6-32,0

Ezek az értékek meghaladják a tengelyterhelés alapján megengedhető, azonban a becslés alapjai miatt bizonyosan túlzóak is. Csak további részletesebb vizsgálattal, tervezői számításokkal kaphatunk valós képet az elérhető tengelyterhelésről. Tekintettel korábbi járművekre és napjainkban keletkezett gyártói ajánlatokra, illetve a túlzó becsléssel is csak kis mértékű (5. táblázat, 0-18%) terhelés-túllépésre, a tengelyterhelési korlát betartása ezen férőhelyekkel is valószínűsíthető.

4.2 Gépezeti jellemzők

4.2.1 Tömeggyártott elemek alkalmazása

A járművek nem csak kis példányszámban gyárthatók, de az üzemeltetők is legfeljebb 2-5 járművet fognak üzemben tartani. Ilyen mennyiség mellett az egyedi megoldások – még ha funkcióban, teljesítményben a tömeggyártott elemeknél jobbak is lehetnek – nagyon megnehezítik és megdrágítják az üzemeltetést; a tervezett élettartamon túli üzemben tartást pedig csaknem kizárnák.

Például egyszerűsíti a karbantartást, de nem rontja érdemben a jármű esztétikus megjelenését vagy üzemkészségét a szokványos ipari kereskedelemben beszerezhető világítótestek, kapcsolók stb. alkalmazása; 24 V vezérlő és segédáramkörökre tömeggyártott alkatrészek rendelkezésre állnak.

¹⁹ CD melléklet: tomeg.xls

Számítani kell arra is, hogy a jármű élete során nagyobb átalakításon is átmehet, egyes fődarabok az eredetitől jelentősen eltérő megoldásokkal is kicserélődhetnek (pl. alternatív energiaforrásokra épített főgépcsoport vagy energiatároló).

4.2.2 Teljesítőképeség

A célszerűen elvárandó teljesítőképeséget a közlekedés szimulációjával lehet a legjobban megbecsülni (5. fejezet), de nagyvonalú becslésre egyszerűbb megközelítés is lehetőséget ad.

Az egyes vasutakon – jövőben elvárható – jellemző legkedvezőtlenebb terhelési viszonyokat a 6. táblázat foglalja össze azzal az igénnyel, hogy az adott pályarészekeken el kell érni a megjelölt sebességet. A táblázat nem veszi figyelembe azokat rövid, de meredekebb emelkedőket, ahol az alacsonyabb sebességgel való közlekedés nem jelent számottevő idővesztést.

6. táblázat: terhelési viszonyok a vasutakon

vasút	jellemző pályarész		távlati sebesség (km/h)
	emelkedés (%)	ívsugár (m)	
Lillafüredi ÁEV	35	60	30
Királyréti EV	20	100	40
Gyöngyösi ÁEV	45	100	30
Hűvösvölgyi GyV	30	60	20
Debreceni EV	5	100	60
Gemenci ÁEV	5	100	15
Csömödéri ÁEV	20	50	40
Szobi EV	40	40	20

Keressük a szükséges fajlagos teljesítményt (elegytömegre jutó teljesítmény, p) a

$$p = \frac{P}{m} \text{ és } P = Fv = mgwv \text{ azaz } p = gwv$$

képlet alapján, ahol

$$w = w_{alap} + w_{emelkedés} + w_{ív}$$

Ebben az ívellenállás a keskenynyomközű Röckl-képlet [4] alapján:

$$w_{ív[\%]} = \frac{350}{R_{[m]} - 10}$$

Az alapellenállás pedig (lásd 5.2.1.2):

$$w_{alap[\%]} = 2,5 + 0,00067v_{[km/h]}^2$$

A 6. táblázat soraira ezt kiszámítva²⁰ jellemző értékben

$$p = 3,0 - 3,8kW / \text{elegytonna}$$

fajlagos kerületi teljesítmény kell.

²⁰ CD melléklet: teljesitmeny.xls

A vonalak fenti emelkedései általában hosszú szakaszokon fordulnak elő, mely különösen – a kis sebességre tekintettel – időben hosszú. Várható így, hogy az emelkedési viszonyok támasztotta teljesítményigény 40-60 percig folyamatosan fennáll.

4.2.3 Gépezeti jellemzők

A jármű hajtásrendszerének fajtáját a leendő üzembentartónak nem feltétlenül kell megkövetelnie – ha a jármű a gyártó által megválasztott megoldással az előbb ismertetett forgalmi feltételeknek gazdaságosan eleget tesz. Néhány előzetes meggondolás azonban tehető.

4.2.3.1 Tapadási tömeg

A motorvonatban elérhető vonóerő (F_{\max}) függ a hajtott tengelyeket terhelő (tapadási) elegytömegtől (m_{tap}), mely nem lehet kevesebb a vonat továbbításához szükséges vonóerőnél ($F_{\text{szükséges}}$):

$$F_{\max} = m_{\text{tap}} g \Psi$$

$$F_{\text{szükséges}} = m_{\text{teljes}} gw + m_{\text{teljes}} (1 + \gamma)a$$

$$F_{\max} \geq F_{\text{szükséges}}$$

azaz

$$m_{\text{tap}} g \Psi \geq m_{\text{teljes}} (gw + a(1 + \gamma))$$

$$\frac{m_{\text{tap}}}{m_{\text{teljes}}} \geq \frac{w + a(1 + \gamma)/g}{\Psi}$$

ahol a 4.2.2 fejezetben tárgyalt legkedvezőtlenebb pályarészen (Szobi EV)

$$w = 54\%$$

A tapadási tényező az erdei pályaviszonyok miatt (nedves, párás, faleveles környezet) csak nagyon alacsony, pl. $\Psi=0,15$ értékben vehető figyelembe. Ha emellett a szükséges gyorsulást is egészen csekély mértékben határozzuk meg, pl. $a=0,05 \text{ m/s}^2$, akkor

$$\frac{m_{\text{tap}}}{m_{\text{teljes}}} \geq \frac{0,054 + 0,05(1 + 0,1)/9,81}{0,15} = 40\%$$

Tehát ezen körülmények között szükséges, hogy a szerelvény teljes tömegének legalább 40%-a a hajtott tengelyeket terhelje.

Egy forgóváz hajtása esetén ez csak az egyedül közlekedő motorkocsinál teljesülhet (vagy esetleg még egy nagyon könnyű vontatott járművel), a nagyobb szerelvény-összeállítások érdekében az összes tengely hajtása szükséges.

4.2.3.2 Hajtásrendszer

Az összes tengely hajtására csak körülményesen alkalmasak a mechanikus és hidraulikus hajtásrendszerek, mivel bonyolult és hosszú kardánrendszerek kiépítését teszik szükségessé. A hajtásrendszeri elemek rugalmas elhelyezése hidrosztatikus vagy villamos hajtásnál oldható meg.

Villamos hajtásnál

- a villamos főáramkörre csatlakoztatva rugalmasan megoldható bármely segédüzemi berendezés, a fűtés táplálása;
- energiatároló beépíthető, mely abba visszatápláló fékezést is lehetővé tesz (a hegyivasutakon ennek komoly energiahatékonysági jelentősége van), a fékezési energia könnyen hasznosítható a segédüzemekben, fűtésben (lásd még 1.4.3.2);
- az alternatív energiaforrások fejlesztése olyan irányba mutat, hogy ily módon villamos energia áll majd rendelkezésre, azaz villamos hajtású jármű lényegesen egyszerűbben átépíthető azok jövőbeli alkalmazására;
- nem jelent környezetszennyezési kockázatot a hajtásrendszerben keringő olaj.

4.2.3.3 Vontatott járművek és beépítendő teljesítmény

Az a követelmény, hogy 300 férőhelyes szerelvény összeállítható legyen (lásd 4.1.3.1), arra a kérdésre vezet, hogy a motorkocsi által vontatható járművek száma és az együtt vezérelhető (távvezérelhető) motorkocsik száma mennyi legyen.

Ebben az ikerkocsi szerelvénykonstrukció választása jelentős kötöttséget jelent: ott fix egységnek tekinthető annak befogadóképessége, így pl. a 4.1.1.3 fejezet 160 férőhelyes járművéből a kívánt 300 férőhelyhez kettő szükséges. A vontatási teljesítményt elvileg elegendő csak az ikerkocsi mozgatására méretezni, de a vasutak igényeire figyelemmel – fenntartva az ugyanott tárgyalt 2. szerelvény-összeállítási lehetőséget – többlet teljesítmény indokolt lehet.

A szólt motorkocsi esetén (4.1.1.2 fejezet, 82 férőhely) 300 férőhelyhez négy járműegység szükséges. A fenti 40% tapadási tömeg csak a motorkocsi elegytömegének (egyenként) legfeljebb 50%-át kitevő mellékkocsikkal lenne teljesíthető, ami aligha érhető el. Ebből kiindulva itt is biztosítandó két motorkocsi együtt vezérlése, és motorkocsinként 1-1 mellékkocsi továbbítása – ami hasonló eredményre vezet az ikerkocsival.

Két mellékkocsi vontatásával – ha ezzel ki is van használva a 40% tapadási tömeg – a motorkocsi elegytömegére annak 150%-át kitevő vontatott elegytömeg juthat. Felhasználva

- a 4.2.2-ben becsült, és 5. fejezetben megerősített fajlagos teljesítményt ($p=4,0$ kW/t),
- a 4.1.6-ban becsült elegytömegeket ($m=27,6-32,0$),
- 5.4.2.1 fejezet fűtésre vonatkozó megjegyzését (nem szükséges rá többlet teljesítményt tervezni),

- segédüzemek „szokásos” +10% teljesítményigényét:

$$P = (1 + 1,5) pm \times 1,1 = 304 - 352 kW$$

beépítendő hasznos teljesítmény kell.

4.2.4 Fékberendezés(ek)

A járművet fel kell szerelni a szabványos vasúti légfékberendezésekkel, amely a hajtásrendszer lehetőségein belül súrlódásmentes, energiavisszanyeréses fékberendezéssel kiegészülhet. Utóbbi jelentősen javítja a jármű gazdaságosságát, ha az 4.2.3 fejezetben említett energiatárolóval, energiahasznosítással a jármű ki van egészítve, azonban nélküle is pontosabb fékvezérlést és alacsonyabb karbantartási szükségletet eredményezhet.

A szerelvény állvatartására szükséges fékberendezés kézfék helyett lehet rugóerőtárolós rögzítőfék, megfelelően gondoskodva arról, hogy hidegen vontatásnál a jármű energiaforrásai nélkül is feloldható legyen. Ez a fékberendezés magas szintű járművezérlés által a megállóhelyi tartózkodások során üzemszerű állvatartásra, vészhelyzetben megállításra is alkalmazható (lásd pl. villamosok fékrendszere).

A fékek méretezésénél számításba kell venni, hogy a lejtős pályán közlekedve az folyamatosan fékhatást fejt ki. A legkedvezőtlenebb vonalvezetésű vasútvonalon²¹ 300 m szintkülönbséget 40-60 perc alatt tehet meg a vonat úgy, hogy a helyzeti energiát a fékberendezés folyamatos fékhatással veszi fel.

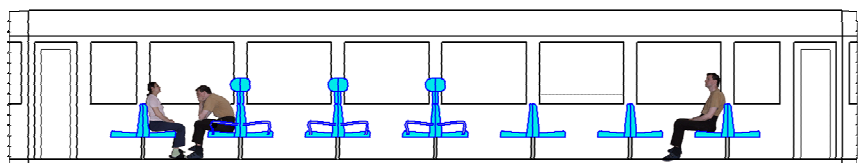
4.3 Belső terek, berendezések

4.3.1 Utastér elrendezése

Az utastér feleljen meg a napjainkban elvárható kényelmi követelményeknek, és lépjen túl a modern járműgyártás néhány kényelmi hibáján.

A kisvasúti utazások során a családi és csoportos utazás jelentős arányt képvisel, ami a 4 fős ülécsoportokon alapuló elrendezést indokolja. Fokozza ezt, hogy a kisvasúti járművek méretüknél fogva is eleve zsúfoltabb, szűk járművek, amit tovább rontana a modern járművekben – sokak által vitatottan is – alkalmazott üléselrendezés, az egy irányba néző kétszemélyes ülécsoportokra építve.

Ütközik emiatt az a két cél is, hogy a tágasabb hatás érdekében az ülések alacsonyak legyenek



17. ábra: példa az ülések elrendezésére

²¹ Nagyirtás-Szob

(fejtámla nélkül), a kényelmes utazás pedig kívánhat fejtámlás üléseket. Megoldás lehet azonban a kettő együttes alkalmazása is (17. ábra).

A ma sokszor egymás mellé telepített egyedi ülések helyett szabadabb az utazási élmény (gyermekcsoportoknál pedig 3 gyermek egymás melletti elhelyezkedését is lehetővé teszi) az egy üléstestként megvalósított, elválasztás nélküli kétszemélyes ülőhellyel.

Vasúti balesetknél visszatérő probléma az utastér passzív biztonsága: a már bekövetkezett ütközés, kisiklás esetén ne fokozódjék az utasok sérülése a belső berendezések által²². Javítható a biztonság azzal is, ha a csomagtartók alkalmasan tervezett geometriájával sem adjuk meg a lehetőséget súlyos és éles tárgyak (pl. síléc) veszélyes helyen való szállítására: ütközéskor ezek fej fölötti csomagtartóról elrepülve súlyos sérüléseket okoznának.

Vagyonvédelmi okokból az utasok szeretik csomagjaikat utazás közben is ellenőrzésük alatt tartani, ezért fontos, hogy a technikailag amúgy egyszerű külön csomagtér helyett azok az ülőhelyek közelében legyenek (pl. ülések alatt). Turisztikai célú vasutakon személyenként egy, kb. 50 literes turistahátizsákkal lehet számolni, akár csoportosan utazók mindegyikénél.

A járművek többféle célra is épülhetnek (pl. turisztika, hivatásforgalom), fontos, hogy a konkrét megrendelő vasútnak legyen lehetősége eltérő üléselrendezés, ülések kérésére (pl. 1. osztályú utastér, fapados utastér).

A takaríthatóság érdekében az ülécsoportok csak egy lábbal támaszkodjanak a padlón (a falakra is függeszthetők, de ez erősebb és nehezebb járműszerkezetet kíván). Kerülni kell a lekerekítetlen sarkokat, éleket, ahol a takarítóeszközök nehezen boldogulnak a felgyűlt szennyeződéssel.

4.3.2 Mozgásukban korlátozottak közlekedése

A kerekesszékek közlekedőknél lényeges kérdés, hogy a járműbe miként jutnak be. Erre – a szerelvény-összeállításnál (4.1.1) tárgyalt módon – a peronnal egyező padlómagasság a javasolt megoldás, ami az alacsonypadlós kocsiszakaszt és a peronok magasítását kívánja. Az utóbbinak kedvező hatása van a nem alacsonypadlós kocsik és kocsiszakaszok elérésére is, és megkönnyíti a nehezebben mozgó utasok fel/leszállását, nagyobb csomagok szállítását is.

A másik alternatíva a kerekesszék emelő alkalmazása, melyet hátrányai miatt nem érdemes alkalmazni, ha az előbbi megoldás rendelkezésre állhat:

- költséges többletberendezés (beszerzés, fenntartás, üzemeltetés, időszakos ellenőrzések);
- nagy helyigénye van az amúgy is kisebb kocsikban;
- használata időigényes és hozzáértő személyzetet kíván.

²² Magyarországon legutóbb a 2008. október 6-án Monorierdőnél történt balesetben életveszélyes sérüléseket is okoztak a sértetlenül elszabadult, merev csomagtartók [11].

Mivel az önálló motorkocsiban alacsonypadlós tér nem helyezhető el, a vasút úgy biztosíthatja a mozgásukban korlátozottak utazását, ha

- minden szerelvény minimum két kocsiból áll, ahol ez a tér a vezérlőkocsiban ki van alakítva,
- vagy kis forgalmú időszakban csak előzetes bejelentés nyomán állítja össze így a szerelvényt, más esetben élvezve az egyetlen motorkocsiból álló szerelvény előnyeit.

Mivel kis forgalom idején eleve kevesebb az érintett utas, az előzetes bejelentés szükségessége is csak kevés utasnak okoz kényelmetlenséget.

4.3.3 Ajtók, ablakok

Önműködő ajtók

A biztonságos utazás ma már megköveteli a központi ajtóműködtetést még a turisztikai célú vasúti közlekedésben is, mely indulás után már nem engedi az ajtók utas által történő nyitását. A hazai vasutakon utasokkal történt halálos balesetek között döntő többségben vannak azok az esetek, amelyek ilyen ajtók esetén nem következtek volna be²³.

A csak első ajtó nyitása kihasználható a járművezető általi menetjegy-kiadás esetén, vagy személyzet leszállására (pl. váltókezelés). A feltételes megállóknál (3.5.2) a vasutak egyedi kényszermegoldásai helyett hasznos támogatást nyújt a leszállásjelző.

Tolatási üzemmódban azonban az ajtózárástól el kell tudni tekinteni, ilyenkor szükséges, hogy a kocsirendező jelzésadási célból kívülről is látható módon tartózkodhasson a szerelvényen.

Menetjegykiadás

Kis forgalmú időszakban kihasználva a körüjárások szükségtelenségét, a motorvonatokat egyetlen mozdonyvezető is kiszolgálhatja, amennyiben a menetjegy kiadását is ő végzi (az autóbusz-közlekedéshez hasonlóan). Mivel ez reálisan csak a vezetőállások mögötti felszállásnál valósítható meg, ahol a forgóvázak miatt alacsony padló el nem helyezhető, kényszerűen el kell fogadni, hogy az alacsony padlót igénylő utasok felszállását egyedileg kell más ajtónál megoldani.

Átjárók

Több kocsiból összekapcsolt vonatonál az átjárhatóság utaskényelmi és kereskedelmi érdek is, ezért elvi célként biztosítani kell a kocsik közti átjárást. A vezetőállásos kocsivégeken azonban hely korlátozottsága miatt kényszerűen el kell fogadni, hogy ez nem megoldható.

További kritikus tervezői feladat, hogy a kis sugarú (40 m), inflexiósan csatlakozó ívekben a kocsiközépvonalak egymástól való eltávolodását el kell viselnie az átjárónak.

²³ 1990-2007. között utasok halálával járó balesetek között 184 elhunytból 136-an vonatra fel/leugrás, kiesés áldozatai lettek [10].

Ablakok

A turisztikai utasok nem „üvegkalkából” kívánják nézni a természetet, hanem fontos, hogy utazás közben is benne legyenek. Ez a lehető legnagyobbra kialakított ablakfelületeken túl igényli, hogy azok a felületek teljesen nyithatóak is legyenek, hasonlóan a mai Bax sorozathoz. Ez járműszerkezeti problémákat is felvet, mert a lehúzható ablaktábla számára hely kell a kocsi oldalfalában, továbbá biztonsági probléma, hogy az utasokat kiesés ellen védeni kell, célszerűen külső korláttal²⁴.

Turisztikai üzemben különösen „értékes” jellemzője lehet egy motorvonatnak, ha az utasok számára biztosított a kilátás a vezetőállásokon át előre. Egy újonnan tervezett járműnél ez a szempont érvényesíthető és érvényesítendő, erre az üléselrendezésben is példát mutat a 4.1.1 fejezet.

További különleges, de hasznos kiegészítés a tetőbe is beépített panoráma ablakfelület.

4.3.4 Fűtés-szellőzés

A járművek utastere elegendő, ha csak a megrendelő külön kérésére klimatizált. Amennyiben a fűtőberendezés egy központi egységként van kialakítva, ott könnyen megválasztható az alkalmazott berendezés (villamos és/vagy hűtővízes fűtés, klímaberendezés), a fűtött/hűtött levegőt légcserélőknél eljuttatva az utastérbe.

A hasonló járműveken elterjedt és jól működik a gázolaj-tüzelésű légbefúvásos fűtőberendezés, mely lehetséges megoldás ezen járműveken is. A hegyipályákon fontos szempont, hogy villamos fűtés esetén lejtős pályán haladáskor hasznosítható fűtésre a fékezési energia. Egyszerűbb a külső energiaforrásról való előfűtés, ha a fűtési feszültség szabványos 3x 400 V 50 Hz, ami egy kisvasúti kocsi teljesítményigénye miatt (kb. 20-25 kW) nem igényel különleges beruházást a járműtelepen.

Egy $m=20-24$ t tömegű kocsi az erdei vasutakon közepesnek vehető $e=20$ % lejtésben, $v=20$ km/h-val haladva

$$P = mgev = 21,8 - 26,2 \text{ kW}$$

fékezési teljesítményt igényel. Ez a durván becsült energia – az elhanyagolások, hatásfok figyelembe vételével is – akkora, hogy érdemi arányban részt vehet a fűtésben.

4.3.5 Vezetőállás

Régebbi, különösen a mellékvonali és kisvasúti motorkocsikon gyakori volt az a megoldás, hogy a vezetőállás egyben az utastér előtere, oda vezetnek a felszálló ajtók. Ily módon vezetés-ergonómiai szempontból csak kényelmetlenebb vezetőállások alakíthatók ki, és számos biztonsági kockázatot is rejt (utasok ott tartózkodása nehezebben korlátozható, nem használt vezetőasztal lezárásának elmulasztása, az utasok a használt vezetőasztal előtt jönnek-mennek a megállóhelyen, stb).

²⁴ e probléma nyomán a járműveket engedélyező hatóság kialakult gyakorlata is, hogy újabb kocsiknál korlátot ír elő vagy az ablak lehúzóhatóságának magassági korlátozását.

Mint a korábbi vázlatrajzok is mutatják, az utasok által elérhető terektől elzárt vezetőállás kialakítható. A hátfal átláthatósága a korábban bemutatottak szerint különleges látnivalót kínál az utasoknak, egyben csökkenti az igényt a vezetőálláson való utazásra, könnyebb az ide vonatkozó tiltó szabály betartása.

4.4 Egyéb berendezések

4.4.1 Vonókészülék

A motorvonatok rugalmas kihasználhatóságát nagyban segíti önműködő vonókészülék alkalmazása, amennyiben az teljes mértékben önműködő, kiterjedően a villamos és levegős kapcsolatokra is. Ilyen berendezések Európában is elterjedten léteznek, közülük a Scharfenberg alkalmazása javasolható.

Az üzemi technológiájától azonban nagyban függ, hogy valóban önműködő vonókészülékre esik-e a választás. Ahol a járműkapcsolás kevés, ott az olcsóbb hagyományos vonókészülék előnyösebb, különös tekintettel arra, hogy a meglévő más járművekkel való kapcsolat is egyszerűen biztosított.

Önműködő vonókészülék a hazai kisvasutakon egy jónak nem mondható egyedi megoldáson túl nincs (1.7.4.1), így nagy a szabadság annak megválasztásában, egy jó választás pedig hosszú távra előnyösen meghatározhatja a vonókészülékek világát.

Fontos kiegészítés azonban:

- A szerkezet legyen alkalmas a régi járműveken való opcionális beépíthetőségre is, akár csak egyszerűsített (pl. levegős, villamos csatlakozások nélküli) formában.
- A vonókészüléknek önmagában is az elvárt biztonságot kell nyújtania a meredek pályákon való közlekedéshez, ugyanis ha a közlekedési hatóság előírni kényszerül mellé kiegészítő biztonsági kapcsolatok alkalmazását is, úgy az önműködés előnye nem használható ki, ám a szerkezet árában és bonyolultságában rejlő hátrány megjelenik.
- Szükség szerint kiegészítő közdarabbal teljes értékűen kapcsolhatónak kell lennie a hagyományos vonókészülékhez, és ez a kapcsolat a szokásos személyzettel gyorsan elvégezhető legyen. Üzemszerűen számolni kell ugyanis nem csak segélymenet lehetőségével, hanem régi járművek vontatásával is.

4.4.2 Vezérlés, vezetéstechnika

A motorvonatok egyik jelentősége a végállomásokon elmaradó körüljárás²⁵, és így a rövid fordulási idők elérhetősége. Ez nem csak menet közben, hanem a végállomásokon való egyszerű kezelhetőséget is igényli, azaz minél kevesebb kezelőszervet kelljen használni.

²⁵ Amennyiben a szerelvény mindkét végén van vezetőállás. Ez nem teljesül, ha a jármű-rendszer motorkocsiból és mellékocsi(k)ból áll (pl. MÁV Bzmot), vagy ha a motorkocsi más kocsikat továbbít.

Ma már könnyen megoldható a járművezető tevékenységének felügyelete és segítése, melyre szintén ki kell alakítani a vezérlőrendszert: pl. állandó sebesség biztosítása, csúszás- és perdülésmentes szabályozás.

4.4.2.1 Üzemállapotok

Az egyik fontos kívánalom a gyors ki/bekapcsolások elvégezhetősége, melynek előnyei mutatkoznak

- menetrendben (körüljárási idők csökkentése, csúcsfordítókön való közlekedés gyorsítása),
- közlekedésbiztonságban (ha könnyebb vezetőállást váltani, a mozdonyvezető azt ritkábban fogja „elsumákolni”, és a rövid mozgásokat hátsó vezetőállásból végezni).

A vezetőállások elfoglalása során a mozdonyvezetőnek a vezetőállás kapcsolóin a különböző berendezéseket megfelelő állapotokba kell kapcsolni (menetirány, sebesség-korlátozás, ajtóvezérlés, világítás, stb.). Ha ezek az elemi állapotok csoportosíthatók, egyetlen üzemmód-választó kapcsoló állásától függenek, akkor jelentősen leegyszerűsíthető a jármű üzembe helyezése.

Ebben gondolkodva a mozgások szempontjából a jármű egy-egy vezetőállásáról a következő üzemmódoknak kell elérhetőnek lenniük:

- kikapcsolt (álló) helyzet,
- vonatközlekedés előre,
- tolatás előre/hátra.

A sor elvileg kiegészíthető a „vontatás hátra” üzemmóddal, mely azonban csak ritkán előforduló, rendkívüli üzemmód lehet, forgalmi korlátozással. Ritka (jó esetben soha) használata miatt elfogadható, ha nincs ilyen üzemmód, hanem helyette a „tolatás hátra” üzemmód használandó.

Lehetőséget kell azonban adni, hogy külön beavatkozással az üzemmód „programozott” beállításaitól a mozdonyvezető eltérhessen.

Az egyes üzemmódokban szükséges beállítások:

7. táblázat: vezérlési üzemmódok

	Kikapcsolt	Tolatás előre/hátra	Vonat csak előre
Fék	rögzítőfék befékez ①	fék üzemszerűen használható	
Sebesség-korlátozás	0 km/h	a tolatásnál megengedett sebesség	a járműre megengedett sebesség
Éberségi berendezés	nem üzemel	a fék feloldása után az éberséget ellenőrzi (4.4.3)	
Ajtóvezérlés	ajtónyitási engedély adható	ajtónyitási engedély adható (4.3.3)	ajtónyitási engedély csak befékezett állapotban adható, nyitott ajtóval a fék nem oldható fel
Jelzőlámpák	a jármű mindkét végén helyzetjelző	a jármű mindkét végén a tolatásra előírt jelzések	a vonatra előírt jelzések, elől fehér, végén vörös fény(ek) ②

Megjegyzések

- ① Kikapcsolt állapotban is lehetőséget kell adni külön beavatkozással fékpróba és hidegen vontatás esetén a fék feloldására.

- ② A vonat végének megjelölése lekapcsolható kell legyen: vontatott járművek továbbítása esetén a jelzést nem szabad használni.

4.4.2.2 Ellentétes megmozdulás

A hegyipályákon, emelkedőben lévő állomásokon, megállóhelyeken megállva előfordul, hogy induláskor a fék feloldása és a vonóerő kifejtése között a jármű rövid szakaszon visszagördül, mire a kellő vonóerő megjelenik. A jármű vezérlése nyújtson védelmet az ilyen veszélyek ellen: pl. rögzítőfék feloldása csak a szükséges hajtónyomaték megjelenése után.

4.4.2.3 Vezetőasztal

A jármű tervezésekor még nem ismerhető, hogy a következő évtizedekben milyen átalakításokra, milyen újabb kiegészítő berendezések beépítésére kerül sor (mozdonyrádió, különböző elektronikus információs berendezések, stb.). A vezetőasztal legyen hely ilyen készülékek utólagos beépítésére, elkerülve a látómezőbe vagy nehezen kezelhető helyre történő utólagos beszűfolást.

4.4.3 Éberségi és vonatbefolyásoló berendezés

A keskenynyomközű vasutakon jelfeladási és vonatbefolyásoló berendezések telepítése nem indokolt, így azok járműoldali berendezéseire sincs szükség. Éberségi berendezés viszont szükséges, melynek az általános gyakorlattól eltérően

- nem csak adott sebesség fölött, hanem már a fék feloldása után működnie kell: alacsony az üzemi sebességek, és külön veszélyforrás, ha a jármű hegymenetben indul el akaratlanul, csekély vonóerővel, tehát lassan; továbbá nagy a járműmegfutamodásokban rejlő kockázat, ezért fontosabb, hogy már azok kialakulása előtt beavatkozzon a biztonsági berendezés;
- nem út, hanem időarányos ellenőrzést kell alkalmazni, a nagyon változó sebességek miatt ugyanis az útarányos ellenőrzés szakaszosan túl sűrű vagy túl ritka ellenőrzést jelentene, de egyszerűbb is lesz a berendezés.

4.4.4 Adatrögzítők

Az adatrögzítők elsődleges biztonsági funkciója balesetek, rendellenes közlekedés esetén a vonat sebességének, biztonsággal összefüggő üzemállapotainak megismerhetősége. Ilyen berendezések szükségesek, sőt, 40 km/h felett kötelezők is. Emellett e berendezések alkalmasak lehetnek további, üzemeltetés szempontjából hasznos adatok megőrzésére is.

A jelenleg alkalmazott adatrögzítők közös problémája Európa szerte, hogy adatszerkezetük egyedi és nem nyilvános. Ez nehezíti a kiértékelést is, illetve az üzemben tartó és vizsgáló szervezetek számára rengeteg kiolvasó és értékelő szoftver naprakészen tartását követeli meg.

Fontos előrelépés ezért a szabványos adatátviteli eszközök megkövetelése és nyílt, kompatibilis adatszerkezet alkalmazása. Erre kiválóan alkalmas az USB csatlakozás és az XML adatszerkezet.

Természetesen ez is magában hordozza a számítástechnika fejlődésében rejlő elavulás lehetőségét, ám még mindig kisebb az elavulási probléma, mint egy teljesen egyedi technikai megoldásnál.

4.4.5 Utastájékoztató

A korszerű közlekedés, utaskiszolgálás ma már az erdőben, kisvasutakon sem nélkülözheti az utasok információkkal való ellátását, mint e feladatokra már az Európai Unió legújabb vasúti irányelvei is nagy hangsúlyt fektetnek²⁶. Ehhez szükségesek a képi és hangos utastájékoztatók. Segíti a pontos információadást, és csökkenti a mozdonyvezető figyelmét elvonó, vezetés közbeni egyéb feladatait, ha működtetése helymeghatározás (GPS vagy megtett út mérése) alapján automatikus.

Az utastájékoztató berendezések jó használhatóságához – az adatrögzítőknél (4.4.4) már említett okból – szintén követelményként kell megfogalmazni az XML adatszerkezetet, míg hanganyagokhoz valamely elterjedt hangformátum (WAV, MP3) javasolható.

4.4.6 Külső megjelenés

A kisvasutakon van jelentősége a nosztalgia hangulatnak, de óvatossá kell lenni azzal, hogy ezt a az új jármű is sugározza-e. A motorvonat ugyanis nem csak műszaki háttérben, de látható megjelenésében is mindenképpen korszerű jármű lesz (önműködő ajtók, utastájékoztató, stb.) Egy nosztalgikus hangulatú kivitel így mindenképpen furcsa anakronisztikus hatást keltene.

A jármű külsőleg és utasterében is legyen műszaki tartalmával összhangban modern megjelenésű.

Meghatározza még a jármű megjelenését a színezése, esetleg alakzatokkal, ábrákkal dekorált külseje. Természetesen a színterv megválasztásában nagy a vasutak szabadsága, ám két fontos dologra érdemes a figyelmet felhívni:

- a jármű nem csak úgy lehet tájba illő, ha a tájon „észre sem lehet venni” (zöld erdőben zöld vonat), hanem úgy is, ha jól néz ki benne. Mi több, a turisztikai funkció éppen megkívánja, hogy a jármű jól mutasson egy fényképen a zöld tavaszban, a színes őszben és fehér télen egyaránt;
- a biztonságos közlekedés kifejezetten megkívánja, hogy az „észre sem lehet venni” helyett jól látható legyen a jármű. A kisvasút sokkal életközelibb, kevésbé van elkülönítve az utasoktól, sok a nem biztosított útátjáró, ezért is különösen fontos a feltűnő láthatóság.

²⁶ ezen irányelvek keskenynyomközű vasutakra való alkalmazása ugyan nem kötelező, ám észszerű

5 Közlekedés szimulációja

A közlekedés szimulációjával modellezzük a jármű konkrét vasúti pályákon való végighaladását. Ehhez alapul vesszük a pályaadatokat (emelkedések, ívek, megengedett sebességek, megállóhelyek elhelyezkedése) és eredményül kaphatjuk a keletkező menetvonalat, ezen keresztül az elérhető menetidőt, valamint a terhelésállapot eloszlását.

5.1 A vasúti pályák

A közlekedés szimulációjához konkrét vasúti pályák adatait vesszük alapul:

A **Szobi EV** Szob-Nagybörzsöny vasútvonala – ha teljesen elkészül – 21 km hosszú lesz²⁷.

Jó terep a szimulációra, mert a hazai kisvasutak között talán az egyik legextrémebb vonalvezetésű, 12 km hosszban 300 m szintkülönbséggel Magyarország legnagyobb szintkülönbségű vasútvonala.

Segíti a megoldást, hogy rendelkezésre állnak a pálya engedélyezési tervei [6][7][8]: legnagyobb emelkedése 45,5 ‰ (10. ábra), a legkisebb ívsugár 40 m²⁸ (9. ábra), az engedélyezett legnagyobb sebesség 10-30 km/h.

A **Debreceni EV** Debrecen-Hármashegyalja vasútvonala ezzel szemben síkvidéki pálya, 16,6 km hosszú. Folyamatban lévő pályázatból tervben van a pálya sebességnövelő korszerűsítése, így remélhetőleg nem csak elméleti, hanem életszerű is ezen a vonalon 60 km/h sebességre elvégezni a szimulációkat.

A pálya adatai egy 1978. előtt kelt hossz-szelvényen rendelkezésre állnak [9]. A legnagyobb emelkedés 5,9 ‰, a legkisebb ívsugár 98 m.

5.2 A modell

5.2.1 Alapok

A jármű mozgásának fizikai megvalósulását a vonatmozgás differenciálegyenlete írja le:

$$F_{gép}(u, v) - W_a(v) - W_j(s) = m(1 + \gamma)a$$

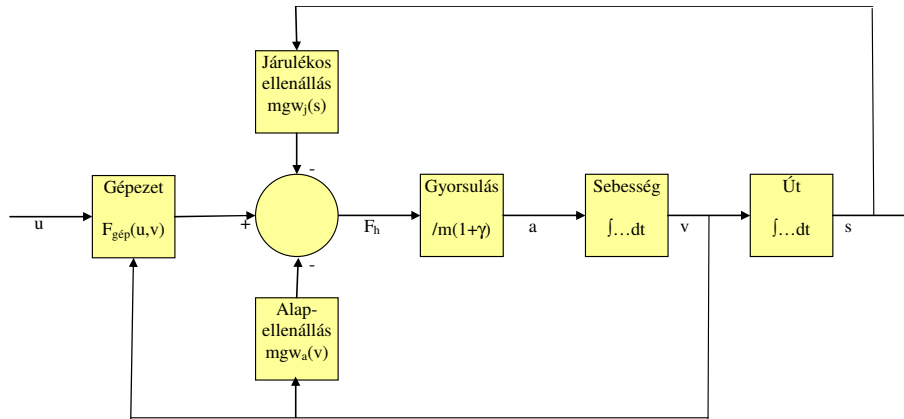
ahol

²⁷ a Szob-Márianosztra szakasza sokévi üzemzűnetet majd újjáépítést követően 2009-től üzemel újra, további újjáépítése előkészületben van.

²⁸ 40 m ívsugár 23 db ívben fordul elő, egyikük középponti szöge közel 270 °

- $F_{\text{gép}}(u, v)$ a gépezeti vonóerő ($F_{\text{gép}} > 0$), ezúttal beleértve a fékezőerőt ($F_{\text{gép}} < 0$) is, függ a vezérléstől és a sebességtől (lásd 5.2.1.1),
- $W_a(v)$ az alapellenállások, mely a sebességtől függ (lásd 5.2.1.2),
- $W_j(s)$ a járulékos ellenállások (emelkedés, ív), melyek az út függvényében adottak (lásd 5.2.1.3),
- $m(1+\gamma)$ a vonat tömege a forgó tömegek hatásával,
- a a szerelvény gyorsulása²⁹,
- v a szerelvény sebessége,
- s a megtett út a kezdőponttól,
- u a vezérlés.

A differenciálegyenletet blokkvázlattal a 18. ábra szemlélteti. Amint az egyenletből és ábrából is kitűnik, a mozgást a benne szereplő összefüggéseken keresztül az u vezérlőfüggvény határozza meg (a kezdeti feltételeken túl).



18. ábra: a vonatmozgás differenciálegyenletének blokkvázlata

5.2.1.1 A gépezet

A kerületi vonó/fékezőerő számítására a felépített modellben (programban) külön $F_{\text{ker}}(u, v)$ függvény szolgál, mely a vonó- és fékezőerő görbesereget képviseli. Ebben u a vezérlési pozíció, amely

- $u > 0$ esetén vontatást,
- $u = 0$ esetén kifuttatást,
- $u < 0$ esetén fékezést jelent.

5.2.1.2 Alapellenállások

A tervezett jármű alapellenállásainak figyelembevétele az e célra általános közelítő képlettel történik:

$$w_a = a + bv + cv^2$$

²⁹ a , v , s és u időfüggő, de az áttekinthetőség érdekében ez nincs feltüntetve.

Az a , b , c konstansokra külön keskenynyomközű vasúti adatok nem állnak rendelkezésre, ezért a konkrét számítások dízelmozdonyokra alkalmazott $a=2,5$, $b=0$, $c=0,00067$ értékkel történnek. Ezek használatával a v km/h-ban, a w_a %-ben (N/kN) értendő.

5.2.1.3 Jámulékos ellenállások

A jámulékos ellenállások – a most figyelmen kívül hagyott szélellenállást kivéve – a pályák korábban bemutatott adataiból levezethetők (pl. 9. ábra és 10. ábra).

A pályáivekből a 760 mm nyomtávú keskenynyomközű vasutakra rendelkezésre álló Röckl képlettel becsülhető az ívellenállás értéke, mely az emelkedési ellenállással az eredő ellenállást adja. A felhasznált Röckl képlet [4]:

$$w_{iv[\%e]} = \frac{350}{R_{[m]} - 10}$$

5.2.2 A vezérlőfüggvény megválasztásának figyelembevétele

Okkal kerül elő az a kérdés, és a további vizsgálatoknak középpontjába is kerül, hogy mi határozza meg a vezérlőfüggvényt? Az ugyanis nem lehet tetszőleges, hiszen a vonatnak

- be kell tartania a pályán megengedett sebességeket,
- a megállóhelyeken meg kell állnia,
- és további feltételként a legrövidebb menetidejű, illetve leggazdaságosabb vonattovábbítást kell elérni.

Ha csupán csak a legkisebb menetidő elérését célozzuk meg, és maximális vezérléssel elindítjuk a vonatot a pályán, olyan menetdiagramot kapunk, amelyen a maximális gépezeti teljesítmény birkózik az ellenállásokkal, és a vonat nem vesz tudomást a megengedett sebességről.

A vezérlőfüggvénynek tehát olyannak kell lennie, hogy következményeként a korlátozó feltételeknek megfelelő menetvonal alakuljon ki. A valóságban ezt a vezérlőfüggvényt a mozdonyvezető választja ki a vonat helyzete (s) és sebessége (v) ismeretében: a vonat helyzete alapján olyan u vezérlési pozíciót kell választania, amely mellett a vonat a sebességhatárokon belül marad. Döntésének alapkérdése az alábbi:

$$v_{\text{aktuális}} \stackrel{?}{\lt} v_{\text{megeng.}}(s_{\text{aktuális}})$$

Külön feladat, és ennek a számításba való beépítése is különleges megfontolásokat kíván majd, hogy egyben előre is kell látnia az elkövetkező sebességkorlátozásokat, megállási helyeket, és kellő időben meg kell kezdenie az u megfelelő értékével a sebességcsökkentést.

5.2.3 Numerikus módszer

A differenciálegyenlet megoldása numerikus módszerrel történik, állandó lépésköz választásával. A továbbiakban a tárgyalás áttekinthetősége érdekében bevezetjük a

$$\underline{p} = \begin{bmatrix} v \\ s \end{bmatrix} \text{vektort, szükség szerinti indexeléssel: } \underline{p}_{index} = \begin{bmatrix} v_{index} \\ s_{index} \end{bmatrix}$$

A numerikus módszerhez a feltüntetett integrálok helyébe az integrál-közelítő összeg kerül, így példaként az út előállítására (s_0 kezdeti feltételből kiindulva):

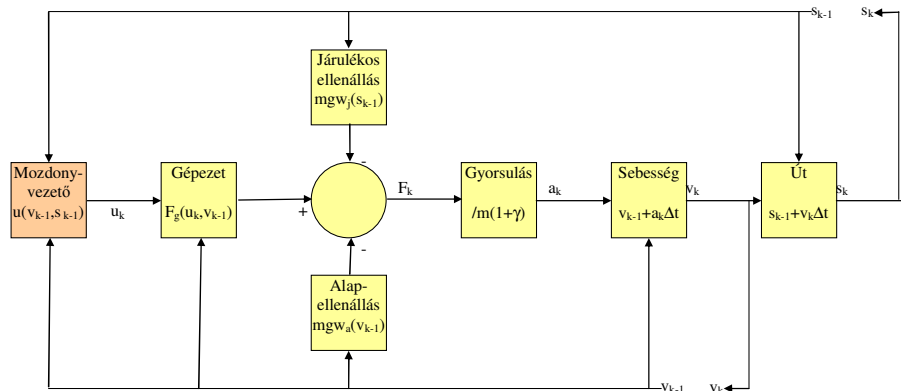
$$s = \int_0^T v dt \approx s_0 + \sum_{i=1}^n v_i \Delta t$$

De nem csak a \underline{p} végeredmény előállítására kerül sor, hiszen a sebesség és út közbenső értékeit tartalmazó \underline{p}_k -k is szükségesek: felhasználjuk a visszacsatolásokban, illetve az eredményül kapott menetdiagram megjelenítéséhez is szükséges. Tehát a fenti integrálközelítő összeg is módosul egy sorozat rekurzív előállítására:

$$s_k = s_{k-1} + v_k \Delta t$$

Ezzel láthatóvá válik a numerikus módszernek az a jellemzője is, hogy a k . lépés adatainak előállításához a $k-1$. lépés adatai szolgálnak bemenő paraméterként.

A blokkvázlat ezzel ismét módosul, a numerikus módszer képleteivel (19. ábra). Most már a \underline{p}_{k-1} -t egyszerű bemenő paraméterként felhasználva a blokkok szerint előállítható \underline{p}_k , amely majd a következő lépésben lesz bemenő paraméter.



19. ábra: a vonatmozgás differenciálegyenletének blokkvázlata, numerikus módszer esetén

5.3 A számítás menete

5.3.1 A vezérlőfüggvény megválasztása

Tekintsük most azokat a korlátozó feltételeket, melyek szerint:

- be kell tartani a pályán megengedett sebességeket,
- és a legrövidebb menetidejű vonattovábbítást kell elérni.

A blokkvázlat, illetve a modell magja \underline{p}_k előállítására u_k , és \underline{p}_{k-1} -ből. Ahhoz, hogy a megfelelő u_k -t megválaszthassuk, a k . lépésben az adott \underline{p}_{k-1} mellett az összes lehetséges $u_{\min} \leq u_k \leq u_{\max}$ értékkel kiszámíthatók a $\underline{p}_{k,i}$ -k. Ezek között a legnagyobb olyan $v_k = v_{k,i}$ -t keressük (és a hozzá tartozó $\underline{p}_k = \underline{p}_{k,i}$ -t, legrövidebb menetidő), amelyre még nem lépünk túl a megengedett sebességet:

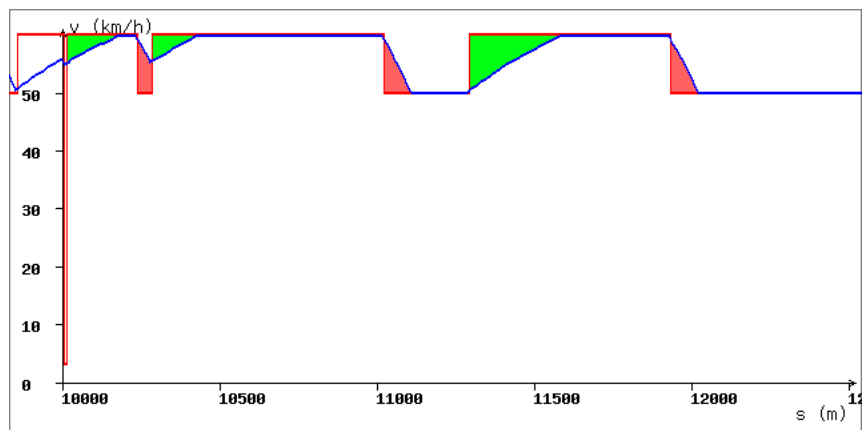
$$v_k = \max_i (v_{k,i}) \Big|_{v_{k,i} \leq v_{\text{megeng.}}(s_{k,i})}$$

Az így kiválasztott i index adja meg a k . lépés optimális $u_k = u_{k,i}$ vezérlését.

Az eljárásnak vannak gyengeségei:

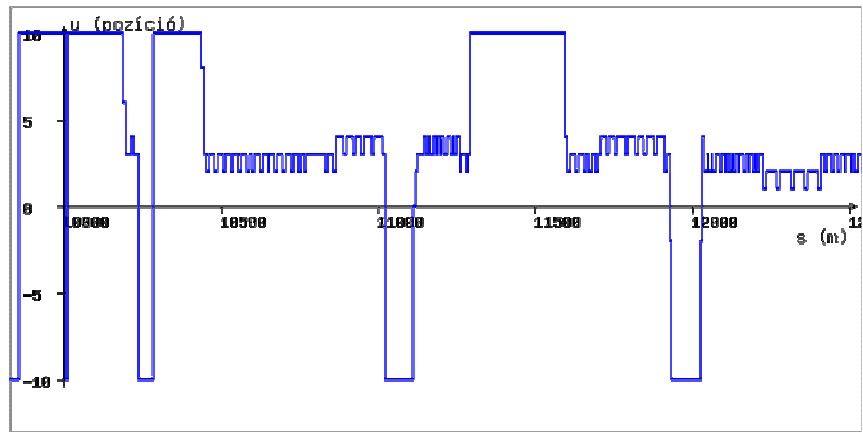
- Túlságosan számításigényes minden lépésben minden lehetséges $u_{k,i}$ értéket kiszámítani. Ez orvosolható az 5.3.1.1 fejezet szerint.
- Elképzelhető, hogy nem található az előbbi feltételt kielégítő u_k , azaz minimális vezérlés (értsd: maximális fékhatás) mellett is túllépjük a megengedett sebességet. Ekkor a maximális fékhatást alkalmazzuk, és keresni kell a peremfeltételekben (pl. lejtviszony) vagy az eljárás hibájában rejlő okot.
- Ilyen eljárásban rejlő ok, hogy ez az eljárás csak az aktuális pályaponton engedélyezett sebességgel foglalkozik, nem képes előrelátni, és időben megkezdeni a fékezést egy későbbi sebességkorlátozásra, vagy megállásra. Ennek kiküszöbölésével az 5.3.1.2 fejezet foglalkozik.

Az utóbbi hiányosság miatt a csökkenő megengedett sebességet csak a változási pont után követi a vonatunk. Ezzel a 20. ábra által bemutatott menet jön létre (ami egy menetdiagram kinagyított részlete). Jól látható a sebességlépcsőknél a sebességtúllépés.



20. ábra: menetábra, a sebességkorlátozás figyelembevételével
 kék: szimuláció, vörös: megengedett sebesség,
 rózsaszín: sebességtúllépés, zöld: kihasználatlan pályasebesség

A számításokból kirajzolódik a vezérlési pozíció alakulása is (21. ábra), az $\{u\}$ sorozat képében. Jól látható, hogy a gyorsítási szakaszokon a jármű maximális vezérlési pozícióban közlekedik, a sebességtartó szakaszokon pedig közbenső fokozatban, pontosabban ± 1 fokozat kapcsolgatásával.



21. ábra: vezérlési pozíciók alakulása az előző menet alatt

5.3.1.1 A számításigényesség csökkentése

A vezérlés változására okot az adhat, ha megváltoznak a pályaparaméterek (ív, lejtőtörés) vagy a vonat intenzív gyorsító/lassító szakasz végén eléri a célsebességet. Más esetben a szükséges vonóerő, ezen keresztül vezérlés elvileg állandó; bár a gyakorlatban a vezérlés diszkrét értékeire tekintettel állandó sebesség mellett is van fokozatváltás, de csak néhány fokozat fel-le kapcsolgatása.

Az állandóság viszont lehetővé teszi, hogy $u_k = u_{k-1}$ -ből kiindulva keressük az alkalmazandó vezérlést. Ha az ezzel elérhető sebesség a megengedett alatti, akkor $u_k = u_k + 1$ -gyel újra próbálkozunk mindaddig, amíg meg nem találjuk azt az értéket, amellyel már túllépnénk a megengedetett. Az eljárás értelemszerűen működik fordítva, alacsonyabb fokozat keresésére is.

5.3.1.2 Előrelátás megvalósítása

Az előrelátást nagyon sok tényező nehezíti, többek között már a fékezési szakaszban is lehetnek menetellenállás-változások, amelyek miatt egyszerű képlet vagy eljárás aligha alkotható.

De fordítva elindulva, a sebességcsökkenés s_i pontjában megengedett $v_{eng}(s_i)$ sebességből kiszámolható visszafelé, hogy mi lehet az a legnagyobb v_{i-1} sebesség Δt idővel korábban, amiről az ottani pályaviszonyok mellett a legnagyobb fékhatást alkalmazva még lelassulhat a vonat $v_f = v_{eng}(s_i)$ sebességre. A kapott adatokból az is meghatározható, hogy a v_{i-1} sebességet mely s_{i-1} pontban érheti el a vonat. Ezzel előáll a maximális fékhatáshoz tartozó fékezési görbe.

A görbe létrehozása sem igényel új számítási algoritmust: csak az előrehaladás algoritmus igényel kis meggondolást. Tekintsük a vonatmozgás differenciálegyenletét (5.2.1) és alakítsuk át akképp, hogy a sebesség abszolút értéke szerepeljen benne:

$$F_{sép}(u, |v|) - W_a(|v|) - W_j(s) = m(1 + \gamma)a$$

Ez az egyenlet nem érzékeny a menetirányra. Benne a sebességcsökkenést okozó erőhatások a kitüntetett „előre” menetiránnyal ellentétesen hatnak, akkor is, ha a vonat hátrafelé halad. Ez utóbbi

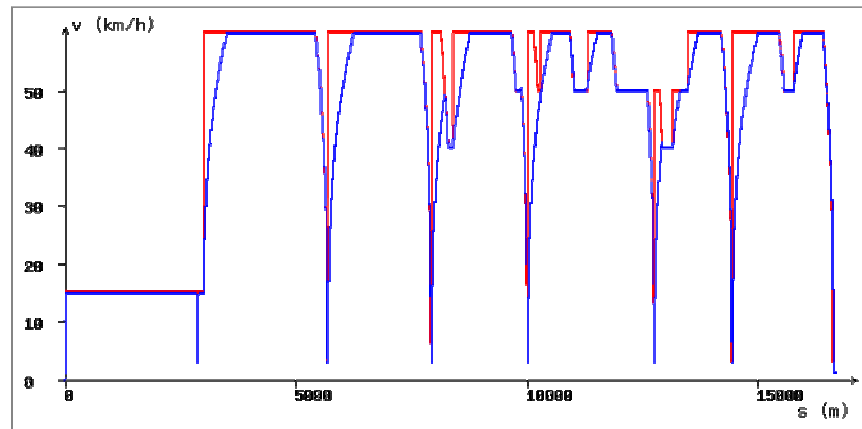
esetben az ellenállásérők tehát valójában gyorsítani fogják – visszafelé – a modell-vonatot. Ugyanez a helyzet a fékezőerővel.

Az így keletkező görbe éppen a keresett fékezési görbe lesz, csupán a vezérlőfüggvény megválasztását kell még kifordítani, hogy a cél a lehető legkisebb sebesség elérése legyen.

Ezzel létrejön egy $v_{fék}(s)$ sebesség-út görbe, mely a fékezés miatt megengedhető legnagyobb sebességet fogja tartalmazni. Ebből, és az eredeti engedélyezett sebesség görbéből előállítható az eredő $v_{eng}(s)$ sebesség-út görbe:

$$v_{eng}(s) = \min(v_{eng}(s), v_{fék}(s))$$

A továbbiakban az előrelátó mozdonyvezető modellezésénél az eredeti engedélyezett sebesség helyett ezt a görbét kell felhasználni a menetdiagram már ismertetett előállításában (22. ábra).



22. ábra: egy menetábra a Debreceni EV vonalán, a fékezési görbe felhasználásával

5.3.2 Kifuttatás

A hegyi pályákon a klasszikus kifuttatás, a négyszakaszos menetábra nem működik, mivel a vonóerő megszüntetése rövid úton a vonat megállásához vezet. Ellenben éppen ez ki is használható: a menetábra háromszakaszos marad, de emelkedőben fékhatás, lejtőben vonóerő kifejtése nélkül, mert a szükséges lassulás/gyorsulás a lejtés kihasználásával megvalósul.

Az elkészített számítási eljárásokban megválaszthatjuk, hogy mekkora emelkedő/lejtő esetén alkalmazzuk a kifuttatást (e_{kifut}). Ekkor

- ha a lejtés meghaladja a kifuttatási határt ($-e_{kifut} \geq e(s)$), úgy $u_{max}=0$,
- ha az emelkedés haladja meg a kifuttatási határt ($e_{kifut} \leq e(s)$), úgy $u_{min}=0$

peremfeltétellel végezzük a vezérlési pozíció kiválasztását.

5.3.3 Megállóhelyek

A megállóhelyek olyan pontok, ahol 0 sebességet kell elérni, ami pontszerű hosszban 0 km/h engedélyezett sebességként felvehető, de a numerikus módszer azt átugraná: a két egymás után kiszámított pont ennek előtte-utána lehet, így a feltételrendszer nem venne tudomást a megállásról.

Ha a sebességkorlátozás hossza (l) akkora, hogy abba már biztosan beleesik legalább egy pont ($\geq v_{max} \times \Delta t$), vagyis az átugrás elkerülhető, viszont az algoritmus el fog akadni, ugyanis a 0 km/h engedélyezett sebességű szakaszon nem enged majd menetet kapcsolni.

Az elakadás ellenszere, hogy 0 helyett attól különböző, csekély engedélyezett sebességet kell megadni.

Az eredmények értékelésénél figyelembe kell venni, hogy a vonat-modell a megállóknál egy rövid szakaszt alacsony sebességgel cammog, amelynek időszükséglete nem jelent valós menetidőt, a változatok összehasonlítását azonban lehetővé teszi, hiszen valamennyi esetben hasonló az időfelhasználás.

5.4 Az eljárás felhasználása

5.4.1 Menetrend

Mindezek felhasználásával ki lehet próbálni, hogy különböző beépített teljesítmények mellett az egyes vasutakon milyen menetdiagramok, milyen menetidők érhetők el.

A számítást lefuttatva két vasútvonalra (hegyi és síkvidéki), a következő adatok nyerhetők (hegyvidéki pályán a nevezőben a 20 % határral számított, kifuttatást is alkalmazó adat):

8. táblázat: elérhető menetidők

Fajlagos kerületi teljesítmény	Elérhető menetidő	
	Szob- Nagybörzsöny	Debrecen- Háromhegyialja
kW/elegytonna	perc	
1,0	91 / 93	35
1,5	72 / 75	32
2,0	64 / 66	31
2,5	60 / 63	31
3,0	58 / 61	30
3,5	58 / 61	30
4,0	57 / 61	30
4,5	57 / 61	30
5,0	57 / 61	30

A számítások szerint mindkét vasúton megfelelő a 3 kW/elegytonna fajlagos teljesítmény, mellyel kb. 1 óra illetve fél óra menetidő érhető el.

Mellékhatásként hasznos lehet a pályaépítési szakterület számára is a számítás: kimutatható, hogy a rövid szakaszokon engedélyezhető magasabb sebesség kihasználható-e, azaz érdemes-e ott valóban fenntartani a pályát a nagyobb sebességre.

5.4.2 Terhelés-állapotok

A menetrendi követelmények és lehetőségek alapján megválasztott kerületi teljesítményhez előállítható a terhelésállapotok gyakorisága, amely szintén fontos adat a jármű tervezéséhez.

A fenti fajlagos kerületi teljesítményből ($p=3,0$ kW/elegytonna) kiindulva a két vasúton az alább bemutatott terhelésállapot-ábrák adódnak. Az ábrákon az egyes sávok az általuk jelképezett, alul zárt, felül nyílt intervallumokba eső terhelés-állapotok össz-időtartamát jelzik.

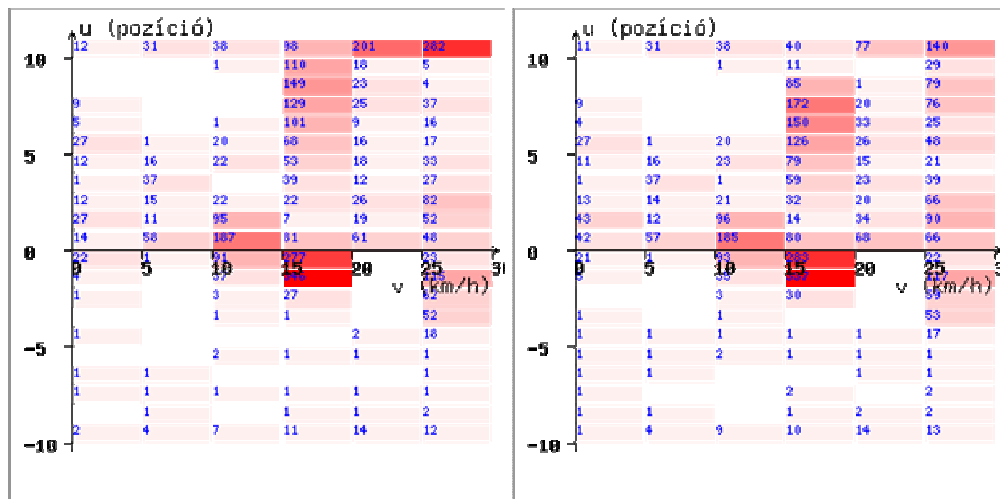
Megjegyzendő, hogy a v_{eng} sebességgel való haladás az alsóbb intervallumban (ahol $v < v_{eng}$) van számbavéve, mivel az algoritmus a sebességtűlépés kizárása miatt a sebességet mindig a megengedett alatt tartja, a numerikus módszer finomságából következő mértékben.

5.4.2.1 Terhelés-állapotok a szobi példán

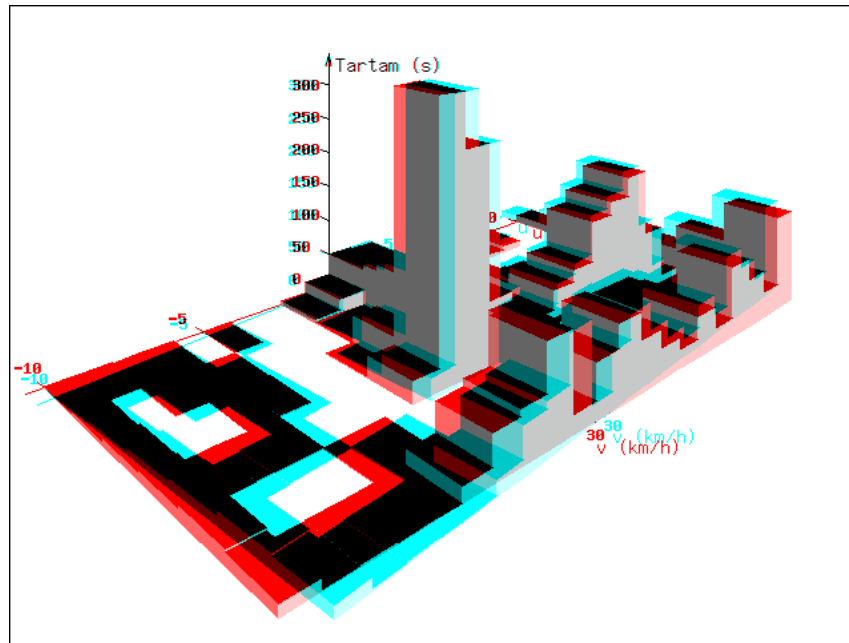
A Szobi EV-n modellezett vonatonál 20% emelkedés/lejtés esetén volt alkalmazva a kifuttatással való lassítás, gyorsítás. A kiemelkedő gyakoribb üzemállapotok $p=3$ kW/t fajlagos teljesítménynél (23. ábra bal kép):

- maximális menetfokozat, 25-30 km/h sebesség: a pályára engedélyezett sebességgel való haladás (vagy annak kísérlete) a vonal kedvezőtlen emelkedésű szakaszain;
- döntően 6-10. fokozatokban 20 km/h: ez a pálya egy részén engedélyezett sebességhatár, de itt már a maximálisnál alacsonyabb – pályaellenállásoktól függő – menetfokozat is elegendő;
- 0-1 fokozatokban 15 km/h: a pálya rövid, közel vízszintes szakaszán ez a megengedett sebesség, mely azonban a lassúság miatt hosszú időt vesz igénybe;
- 20 vagy 30 km/h sebesség enyhe fékhatással (-4..-2 fokozat): a pálya lejtős, 20 és 30 km/h pályasebességű szakaszain való közlekedés.

E modellnek és bemenő adatok alapján jelentős a maximális fokozatban való üzemelés aránya, ami a gépezet élettartamát jelentősebben csökkentheti. Ahhoz, hogy a gépezet terhelése elfogadhatóbb legyen (és a hatásfokfelület kedvezőbb területén dolgozzon a gép), érdemes a menetrendi szempontból optimálisnál nagyobb fajlagos teljesítményt beépíteni. $p=4,0$ kW/t mellett a 23. ábra jobb képe szerinti terhelésállapot adódik.



23. ábra: terhelési állapotok 3 illetve 4 kW/t fajlagos teljesítmény mellett a Szobi EV vonalán



24. ábra: a $p=4$ kW/t-hoz tartozó diagram anaglif ábrán³⁰

Ezen „motorkímélő” teljesítmény-tartalék felhasználható a fűtési energiaigény biztosítására. Igaz, így látszólag ellene mondunk a „motorkímélő” célnak, viszont a turisztikai vasutakon fűtési időben lényegesen kisebb a forgalom, ritkábban áll össze a teljes vontatási teljesítményt igénylő szerelvény. Emiatt a gépek össz-üzemidejének még így is csak kis részében lesz ténylegesen kihasználva a teljes beépített teljesítmény.

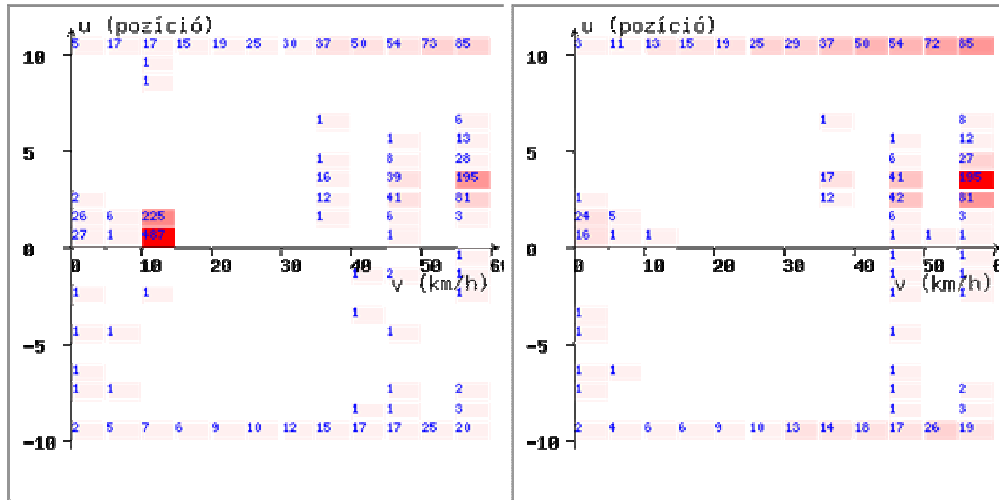
5.4.2.2 Terhelés-állapotok a debreceni példán

A Debreceni EV-n modellezett vonat (25. ábra bal kép) jellemzőbb üzemállapotai:

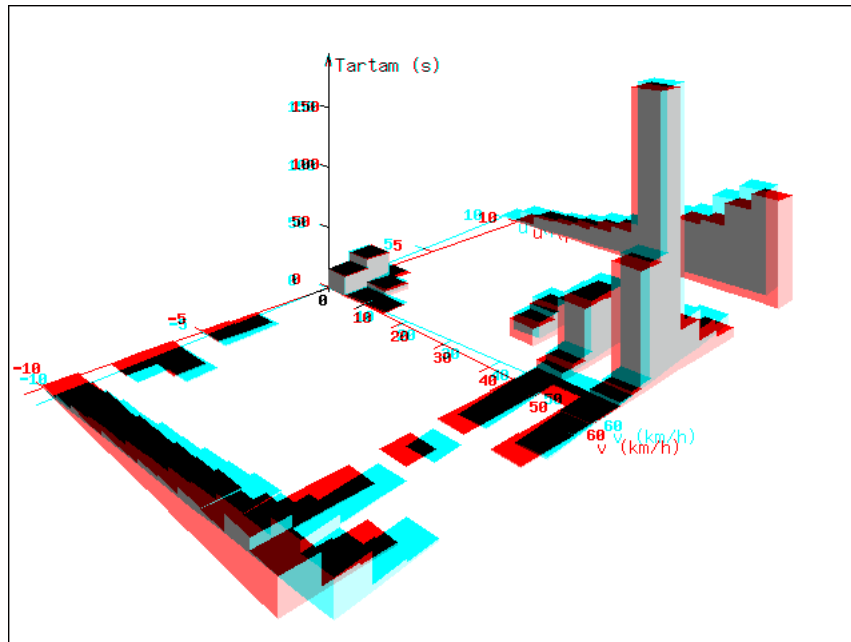
- maximális menetfokozat a teljes sebességtartományban: gyorsítás az engedélyezett sebességre;
- maximális fékhatás a teljes sebességtartományban: sebességkorlátozásokra, megállóhelyekre való lassítás;
- 2-3 menetfokozatban 40, 50, 60 km/h: ezen megengedett sebességekkel való tartós haladás;
- 0-1 menetfokozatban 15 km/h: egy jelentősebb utcai vonalvezetésű pályaszakaszon ez a megengedett sebesség, ami a lassú haladás miatt válik időben kiemelkedővé;
- 0-1 fokozatban 5 km/h alatt: a megállóhelyek modellezési módszeréből (5.3.3) következő üzemállapot.

³⁰ megtekinthető a mellékelt vörös-kék szemüveggel. A kép élvezhetőségét befolyásolhatja a monitor vagy nyomtatás színminősége!

Jobban láthatók a vonali terhelésállapotok, ha a szimuláció csak a 15 km/h sebességhatárolású pályaszakasz végén indul, mint ezt a 25. ábra jobb képe vagy a 26. ábra mutatja.



25. ábra: terhelési állapotok egy vonatmodellre a Debreceni EV vonalán: a 0. és a 30. szelvényből indulva



26. ábra: az előbbi jobb diagram anaglif képe

6 Üzemeltetési háttér

6.1 Karbantartás, javítás elve

A kis üzemeltetett darabszám miatt nagy tartalék járműállományok beszerzése gazdaságtalan lenne (6.3.3), így viszont a kellő rendelkezésre állásnak nem csak a nagy megbízhatóságú jármű az alapja, hanem a rövid javítási idők is.

Ehhez szükséges, és jobb minőségű javításra is lehetőséget ad a cserés, fődarabcserés javítás. Ekkor a súlyosabb üzemzavarok is megoldhatók egy üzemnapnál nem hosszabb kieséssel.

Ugyanakkor feltétele ennek, hogy

- a járművet az egységek gyors ki- és beszerelhetőségre is tervezni kell (minél kevesebb és gyorsan bontható csatlakozási pont, stb.)
- rendelkezni kell minden cserélhető alkatrészről, fődarabbról üzemképes, beépíthető tartalékkal (napjainkban fontos figyelmeztetés a vasutaknak, hogy olyan üzleti modellt kell működtetniük, amelyben a kiszertelt fődarabok javítása nem maradhat el);
- a javítóműhelyt a gyors fődarabcserére kell kialakítani.

További előnye, hogy a fődarabok elszállíthatók szakműhelybe, egyszerűsödik a helyben végzett munka (lényegében ki-beszerelésre korlátozódik), kisebb az alkalmazandó fenntartási létszám.

6.2 Fenntartási műhely

A kisvasutak jelenleg nem rendelkeznek korszerűnek mondható karbantartó bázisokkal, rendszerint nem csak műhelyeik felszereltsége, hanem többnyire azok épületgeometriai jellemzői sem alkalmasak a korszerű járművek fenntartására.

A járművek tervezésénél ezért – a tervező könnyebbségére – nem kell a meglévő karbantartási lehetőségeket figyelembe venni, ellenben azok megtervezése, kialakítása is feladat.

Az előbbieket alapján a műhellyel szemben a legfontosabb követelmények:

- a jármű emelésének biztosítása,
- kétoldalt targoncához szükséges közlekedési tér,
- fődarab raktár, targoncával megközelíthetően,
- megbontáshoz szükséges szerszámok, szerszámgépek.

Meggondolható, hogy melyek azok a javítások (kiszertelt egységek javítása), amelyeket a vasútüzem műhelye helyben végez – akár a vasutak által egymás közt is megosztva. Erre külön javítóhelyeket kell kialakítani, míg más egységeket központi szakműhelybe kell szállítani.

6.3 Megbízhatósági követelmények

A jármű megbízhatósága több tekintetben hat az üzemeltetésre és szolgáltatásokra. A magasabb megbízhatóság magasabb beszerzési árat, karbantartási költséget is jelent, míg az alacsonyabb megbízhatóság több üzemzavarral, kieséssel jár, akár magasabb beszerzendő darabszám (így viszont megint csak magasabb kiadás) is szükséges lehet ugyanahhoz a rendelkezésre álláshoz.

6.3.1 A meghibásodások következményei

A járművek véletlenszerű meghibásodásai alapvetően kétféle következménnyel járhatnak:

1. a jármű azonnal szolgálatképtelen, utasait más járművel kell továbbszállítani;
2. a jármű szolgálatát befejezheti, de rövid időn belül forgalomból kivonva javításra szorul (különben a hiba az előző állapotig súlyosbodhat).

Az első a szolgáltatás színvonalára közvetlenül hat, hiszen annak teljesítését kizárja, illetve a javítás időtartamára a járművet helyettesíteni kell (ha van mivel). A második a helyettesítési szükségletet érinti, a szolgáltatást csak akkor, ha a jármű tartalék hiányában nem helyettesíthető.

Ha a vasút be tudja árazni, hogy mekkora kárt jelent a vonali szolgálatképtelenség, a forgalomból való kiesés, akkor eldönthető, hogy a gyártó milyen élettartam-költség szintig, milyen mértékben javítson megbízhatóságon drágább részegységekkel, vagy drágább karbantartási rendszerrel.

6.3.2 A tartalékállomány meghatározása

A tartalékállomány meghatározásánál az a cél, hogy a járművek forgalomból való kiesése (tervezett karbantartás vagy meghibásodás) esetén lehessen más járművel helyettesíteni. Feltehető azonban az a kérdés is, hogy egyáltalán lehessen-e helyettesíteni.

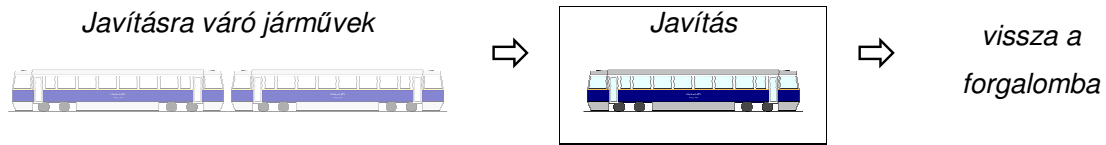
6.3.2.1 Forgalmi zavar esélye

Forgalmi zavar akkor lesz, ha több jármű van a meghibásodások miatt javításban, mint amekkora a tartalékállomány (a forgalomban éppen résztvevőkön felül, de figyelmen kívül hagyva az előre tervezett, időszakos javításokat³¹).

A meghibásodásokat és a javítási időket felhasználva felépíthetünk egy olyan folyamatot – egycsatornás MM1 modellel dolgozva³² –, melyben a meghibásodott jármű belép a rendszerbe, és azt a javítás időtartama után hagyja el.

³¹ ezen elhanyagolás a gyakorlatban is elfogadható, mivel a kisvasutak szezonális üzemében az időszakos javítások tervezhetők a kisebb járműigényű (hó)napokra.

³² a függetlenség követelménye a gyakorlatban nem feltétlenül teljesül a kis járműmennyiség miatt: ha már néhány jármű javításban van, és nem helyettesíthetők, akkor forgalomban kevesebb marad, azaz kevesebb is lehet a meghibásodás (csökken a beérkezési ráta)



Alapadataink:

- n az üzemben lévő járművek száma
- λ egy jármű meghibásodási rátája
- μ a hiba kijavítását jellemző kiszolgálási ráta

Ekkor a javítási folyamatban a forgalmi intenzitás

$$\Psi = \frac{n\lambda}{\mu}$$

Annak valószínűsége tehát, hogy a javítási rendszerben (a modell-rendszer állandósult állapotában)

nem lesz jármű³³: $p_0 = 1 - \Psi$

1 jármű lesz: $p_1 = (1 - \Psi)\Psi$

Ebből adódóan a tartalék járművel nem rendelkező vasútüzemben a forgalmi zavar bekövetkezésének esélye (zavar akkor lesz, ha lesz jármű a javítási rendszerben):

$$q_0 = 1 - p_0 = \Psi$$

egy tartalék járművel rendelkező vasútüzemben (zavar akkor lesz, ha 1-nél több jármű lesz a rendszerben):

$$q_1 = 1 - p_0 - p_1 = \Psi^2$$

6.3.2.2 A forgalmi zavar hatása a szolgáltatásra

Ha az éves forgalom, illetve a forgalomban lévő járműállomány nem állandó, a tartalék járműállomány mennyisége sem lesz az. Ilyenkor a forgalmi zavar tényleges valószínűsége is további számítást kíván: ha – egy leegyszerűsített esetben – az éves menetrendi futásteljesítmény r részéhez nincs tartalék jármű (csúcsüzem), míg $1-r$ részéhez éppen 1 db tartalék van, akkor a zavar esélye

$$Q = rq_0 + (1-r)q_1$$

(Természetesen kiszámítható lenne még több lehetséges állapotra is, de mint a végeredmény kimutatja, ilyen alacsony járműszámánál nincs érdemi hatása.)

Egyenletes kihasználtságot modellezve ez a teljes éves utasforgalommal szorozva adja, hogy a zavar várhatóan hány utast érint:

³³ ezen le nem vezetett képletek forrása a megbízhatóság-elméleti előadások

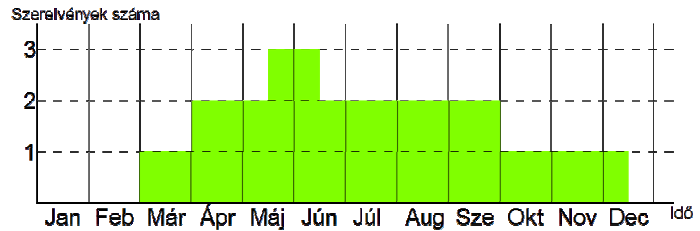
$$u = UQ$$

6.3.3 Gyakorlati alkalmazás

6.3.3.1 Tartalék járműállomány

Sajátos számítási körülmény, hogy a kisvasutak üzeme szezonális. Az év rövid szakában van csak nagy forgalom, amikor a legtöbb jármű van üzemben, más hónapokban akár részleges vagy teljes

üzemszünet is lehet (27. ábra). A csúcsidőben üzemelő szerelvények (motorkocsik) száma a kisvasutakon 1-4 db körül változhat.



27. ábra: üzemben lévő szerelvények száma (elvi lehetőség)

Kérdés, hogy szükséges-e a rövid csúcsidőszakra is tartalék jármű, vagy vállalható a kockázat, hogy meghibásodás esetén a szolgáltatás nem teljesíthető. Különösen, ha a vasútüzem a régi járműveiből a járműcsere során megtart annyit (több okból ez szinte szükségszerű is), amellyel meghibásodás esetén (persze nyilván alacsonyabb színvonalon) helyettesíthető a korszerű jármű.

A csúcskihasználtság rövid ideig áll fenn, elvárható, hogy a jármű elviselje ezt az időt (futást) előre tervezett, forgalmi kieséssel járó karbantartás nélkül. Így megszervezhető, hogy emiatt nem szükséges tartalék járműállomány, kockázatot csak a véletlenszerű meghibásodások jelentenek. Az előző fejezet elmélete erre ad választ, hogy mekkora is ez a kockázat.

Ehhez a számítást elvégezzük az üzemidő 100%-ában rendelkezésre álló 1 db tartalék járműre is ($r=1$), amiből közelítőleg azt kapjuk, mekkora lesz a zavar esélye és az érintett utasok száma úgy, ha a legforgalmasabb időszakra is betervezzük tartalék járművet³⁴. A két számítás különbsége hordozza a lényeges információt: a +1. jármű beszerzésének hasznát (elmaradó kárt).

A kárra csak nagyon szubjektív becslés adható, de tájékoztató jelleggel az számolható, hogy a zavarban érintett, elégedetlen utas visszaköveteli menetjegye árának (jogszabályban alátámasztott) 15-szörösét és rossz tapasztalatai nyomán a következő 15 évben nem látogatja meg a vasutat³⁵, azaz érintett utasonként 30 menettérti jegy ára lesz a vasút zavarból eredő kára³⁶.

³⁴ élve azzal az egyszerűsítéssel, hogy nem számolunk több tartalékkal a kisforgalmú időszakban sem

³⁵ a szezonális üzemű, turisztikai vasutakon évi átlagban legfeljebb 1 látogatással számolhatunk.

³⁶ ez egy roppant leegyszerűsített kárbecslés, ám túlmutatna a dolgozat célján annak fejtegetése, hogy milyen mértékben érinti rosszul az utast az üzemzavar, és milyen kárt okoz a rossz tapasztalatok, rossz hír terjedése.

A számítás menete, és az adatok egy konkrét vasútüzem esetében a 9.5 fejezetben láthatók. Több vasútüzemre kiszámítva³⁷:

9. táblázat: tartalék járművet indokló vagy elvető számítás több vasútra

Vasútüzem	Csúcs-üzem	Járművek száma csúcsüzemben	Egy szerelvény futása	Utasszám	Kár-csökkenés
	%	db	km/nap	ezer fő/év	eFt/év
Lillafüred	25	4	112	200	10 740
Gyöngyös	30	2	84	80	1 424
Királyrét	48	2	110	100	5 065
Szob	100	1	104	50	4 982
Debrecen	100	1	68	30	1 222

Tartalék jármű beszerzése akkor indokolt, ha a károk csökkenése meghaladja a jármű élettartam-költségének egy évre számított részét.

Azon vasutak, ahol a legforgalmasabb időszak hosszabb, vagy egész évben egyenletes a forgalom, a tervezendő javítások sem kerülhetik el a csúcsidőszakot. Ott a tervezett javítások miatti hosszabb kiesés már jelentősen megváltoztatja a fenti adatokat, jobban indokolhat tartalék járművet.

6.3.3.2 Megbízhatóság mértéke

A fenti számításban a megbízhatóságot jellemző érték a meghibásodás várható gyakoriságát jelző 50 000 km. Ez harmada a normál nyomtávon ma már gyakorlatban fennálló megbízhatóságnak.

A – becsléssel felvett – harmadolás alapja, hogy a kisvasutak kedvezőtlenebb vonalvezetésük miatt jobban igénybe veszik a járművet, az alacsony sebességből eredően hasonló üzemidő alatt pedig kisebb a futásteljesítmény, miközben számos meghibásodás az üzemidő arányában jön létre.

Számítható az, hogy ennél szigorúbb vagy megengedőbb megbízhatóságot megkövetelve a gyártótól, hogyan változik a meghibásodásokból eredő kár és a jármű élettartam-költsége. A következőkben az előző számítás két szélsőséges esetére:

10. táblázat: különböző megbízhatóságú járművek két vasúton

	meghibásodás gyakorisága	várható éves kár tartalék jármű nélkül	várható éves kár egy tartalék járművel
	km	eFt/év	eFt/év
Lillafüred	25 000	22 826	1 541
	50 000	11 125	385
	100 000	5 490	96
Gyöngyös	25 000	2 904	65
	50 000	1 440	16
	100 000	717	4

³⁷ CD melléklet: megbizhatosag.xls

Ebben az esetben a jármű ára (pontosabban a – jelen példában – háromféle megbízhatósághoz tartozó eltérő áraik) és a forgalmi zavarokból eredő károk 6 lehetőséget adnak, melyek közül a legkedvezőbb a javasolható beruházási döntés. Versenyre bocsátódik többek között egy magas megbízhatóságú, de drága jármű tartalék beszerzése nélkül az alacsony megbízhatóságú, de tartalék beszerzését kívánó jármű ellenében.

Mivel a tényleges ítélethez ismerni kellene az egyes jármű-változatok élettartam költségét, így itt a módszer előbbi ismertetésén túl nem bocsátkozhatunk tényleges javaslattételbe a tartalékolásra vonatkozó döntéshez.

7 Költségek elemzése, gazdaságossági vizsgálat

A vasutak jelenlegi gazdálkodását az jellemzi, hogy a szolgáltatási bevételek nem fedezik azok költségét. A kisvasutakon a menetdíj-bevételek az összes költség kb. 20-80%-át teszi ki³⁸, a motorvonatokban érdekelt vasutakon ez kb. 30-60%. A fennmaradó rész jelenleg az üzemeltetők (nagyreszt állami vállalatok) vesztesége, megoldott közlekedés-finanszírozás esetén a szolgáltatás állami finanszírozása. Az előrelépés tehát a finanszírozás (veszteség) csökkenésén mérhető le.

Nagyon fontos, hogy nem költségeket, hanem a finanszírozási szükségletet kell mérni, az utóbbi ugyanis magában foglalja a bevételek változását is.

7.1 A motorvonatok költségei

7.1.1 Beruházás

A beruházás nem azonos a szükséges számú motorvonat beszerzésével. Mint korábban már több helyen szó volt róla, elengedhetetlen még

- a karbantartó bázisok (esetleg átrakók) kiépítése (6.1);
- infrastruktúra kisebb korszerűsítése (pálya megerősítése, magas peronok építése);
- továbbá célszerűek olyan kiegészítő szolgáltatásjavító fejlesztések, amelyek a vonatok előnyeinek kihasználását lehetővé teszik.

7.1.2 Üzemeltetés

Az üzemeltetés költség szerkezete megfelel a meglévő járműállománynál ismertnek, de az egyes tételek mértéke megváltozik:

Üzemanyag-felhasználás: a teljesítményegységre (forgalmi teljesítmény) jutó üzemanyag-felhasználás nem csak a gazdaságosabb jármű miatt csökkenhet, hanem a továbbítandó járműtömeg is kis mértékben alacsonyabb lesz, mint mozdonyvontatásnál. Ellenben bizonyos többletszolgáltatások is motor-hajtóanyagot használnak fel, mint pl. a szerelvény fűtése, szemben a korábbi tűzifa-felhasználással³⁹.

Személyzet: kis forgalmú időszakban egyszemélyes kiszolgálás is lehetséges (menetjegyváltás a mozdonyvezetőnél), ez vonatszemélyzeti bérköltség-megtakarítást jelent⁴⁰.

³⁸ egyetlen, nagyon forgalmas és rövid vonalú kisvasút van, ahol kedvező években az üzleti eredmény pozitív

³⁹ a meglévő személykocsik kályhafűtése folytán

⁴⁰ a Királyréti EV-re kiszámítva ez kb. 10-15% munkaidő-megtakarítás (CD melléklet: forgalom_kr.xls)

A ma több mozdonnyal továbbított vonatoknál mindenképpen lesz személyzet-csökkenés, mivel nem csak a teljesítőképesség nőhet (ritkábban kell két vontatójármű), hanem ilyen esetben a távvezérlés folytán egy mozdonyvezető is elég a két járműre.

Fenntartás: nehezen becsülhető, mivel a konkrét megvalósított járműtől nagyban függ. A jelennel való összehasonlításban pedig tudni kell, hogy a meglévő járművek fenntartása erősen visszafejlesztett, számos indokolt javítást nem végeznek el; az aktuális fenntartási költségek ezért alacsonyabbak az indokoltnál.

Az új jármű mindemellett bonyolultabb, több olyan szerkezeti egységet tartalmaz, mely az 50-60 évvel ezelőtt gyártottakon nincs (villamos fűtés, önműködő ajtó, utastájékoztató stb.). A fenntartási költségek ezért – egy járműre számítva – akár nőhetnek is.

A magasabb megbízhatóság, magasabb teljesítőképesség csökkentheti az üzemben tartandó járművek számát, ami viszont ezzel arányban a fenntartási költségeket is csökkenti.

Forgalom: szintén nehezen mérhető a költségcsökkenés a forgalmi technológiában. A körülmények elmaradása (tisztán motorvonatos üzemben) technológiai időket csökkent, kisebb vágánykapacitást igényel.

Néhány vasúton számottevő és számítható forgalmi előny is elérhető: a menetidő csekély csökkenése elegendő ahhoz, hogy – tekintettel a csatlakozási és menetrendi elvi kötöttségekre – a 60 perces ütemes menetrend bevezethető legyen, vagy a jelenlegi kettő helyett egyetlen szerelvényt megvalósuljon⁴¹.

Kiemelten hangsúlyozni kell, hogy a ma beszerezhető járműnek nem csak a megbízható működése, hanem maga a működőképessége sem biztosítható a jelen szemlélettel, hogy a vasútüzemek költségeinek csökkentése a fenntartás leépítésével (is) valósul meg. Míg az öreg mozdony rosszabb karbantartás mellett is működőképes maradhat (persze rosszabb megbízhatósággal, teljesítménnyel), addig az új jármű ilyen esetben már üzemképtelenné válik.

A vasutaknak ezért fegyelmezett gazdasági tervezést, irányítást kell folytatniuk, tudomásul véve, hogy a karbantartás a járművel együtt járó költség, mely nagyrészt csak a forgalmi teljesítmények csökkentésének arányban mérsékelhető.

⁴¹ a Királyréti EV esetén ezzel akár 25% munkaidő-megtakarítás is elérhető (CD melléklet: forgalom_kr.xls), Lillafüreden a jelen 70-80 perces követés helyett lehetséges 60 perces ütemes menetrend bevezetése, annak ismert utasvonzó hatásával

7.2 A motorvonatok hatása a bevételekre

A kisvasutak esetében nincs egyértelmű válasz arra, hogy a korszerű jármű milyen hatással van az utasforgalomra, és azon keresztül a bevételekre.

Közszolgáltatásban természetesen jelentős előny a korszerű jármű. A kisvasutak közszolgáltatási funkciójában pedig a jelen fapados, kályhafűtéses kocsik után különösen nagy előrelépést jelent, ami mindenképpen számottevő kedvező hatással bír.

A turisztikai üzemben a hatás nem egyértelmű. Ahol a kisvasút csak turisztikai célpont megközelítését szolgálja, de nem maga a turistalátványosság, ott a közszolgáltatáshoz hasonlóan előnyös a korszerű jármű. Ahol az utazás élménye, hangulata fontos, ott akár ronthat is a vonzerőn egy „szokásos” modern jármű. Emiatt fontos, hogy a hagyományos fapados kocsik vontatása megoldható legyen az utazási nosztalgiát keresőknek. Ezzel már a korszerűség hátránya minden bizonnyal kiküszöbölhető, de még megcélózhatók azok az utasok is, akik viszont éppen az alacsony színvonal miatt nem veszik ma igénybe a kisvasutakat.

Ha a vasút a jármű előnyeit a forgalom bővítésére is kihasználja (nagyobb üzemidő, sűrűbb közlekedés, ütemes menetrend), akkor ezen keresztül további forgalom-bővülés érhető el.

Mindenképpen bevétel-növelő tétel, hogy a meglévőnél lényegesen jobb megbízhatóságú jármű kevesebb forgalmi zavart okoz, kevesebb lesz az emiatt elmaradt bevétel.

7.3 A megtérülés módjai

Az új jármű üzembeállításánál szigorúan nézve akkor beszélhetünk megtérülésről, ha az állami finanszírozás csökkenése kitermeli a jármű élettartam-költségét.

Lehet azonban egy ennél óvatosabb megközelítése is a megtérülésnek: ha a jövőbeli finanszírozás alakulását azon a bázison vizsgáljuk, hogy a vasútüzem költségvetése milyen mértékben változna a jelen járművek további üzemben tartása esetén (relatív megtérülés).

Ez utóbbi ugyanis magában foglalja azt, hogy

- a jelen járművek további üzemben tartása sem képzelhető el költséges felújítások nélkül,
- ezzel együtt is további üzemelésük egyre drágábbá válhat (magas élőköltség miatt a munkaerő költségének növekedése),
- az utasforgalom és bevétel a leromló állapotok, kényeszerű szolgáltatás-szűkítés miatt csökkenhet.

Nem kizárható alternatíva ugyanakkor egyes vasutak felszámolása sem. Ráadásul mivel a motorvonatok üzembe állításával is szükséges marad majd állami finanszírozás, a közvetlen pénzügyi számokat nézve bizonyosan ez lenne a legkedvezőbb megoldás. Ha azonban környezetvédelmi, örökségvédelmi, stb. szempontok alapján a magyar társadalom e vasutakat

fenntartja és fenn kívánja tartani – mint jelenleg is, akkor ezt, mint alternatívát eleve el kell vetni, tehát reális a jelen járművek további üzemeltetését a számítás bázisául venni.

7.3.1 A relatív megtérülés becslése

A motorvonat beszerzési költsége a meglévő járművek korszerűsítését helyettesíti, azaz relatív számításhoz a tényleges megtérülendő összeg csak ezek különbsége. Ráadásul a meglévő járművek korszerűsítéssel is aligha érhetik el azt a többlet élettartamot, amelyet egy új jármű biztosít, így több ilyen korszerűsítést kell figyelembe venni, vagy a motorvonat költségeiből csak az összevethető időtartamra eső részt.

Hasonlóan az új jármű magasabb megbízhatósága a 6.3.3 fejezetben vázolt módon összevethető a rosszabb üzemkészségű régi járművekkel, mely további – bár kevésbé megfogható – tényező a megtérülés vizsgálatához.

7.4 A megtérülés számítása

Tényleges megtérülés számításához ismerni kell a lehetséges járművek élettartam költségét, azok főbb jellemzőit, megbízhatósági adatait, melyek alapján a vázolt számítások elvégezhetők. Ezek az adatok elsősorban gyártói ajánlatok formájában állhatnak rendelkezésre. Jelenleg ismert vagy becsülhető ár csak nagyon alacsony és nagyon magas műszaki szintű járművek beszerzési áráról van, 75-500 MFt/db értékben⁴².

Szükségesek továbbá a beszerzést fontoló vasútüzemek összehasonlító adatai a meglévő járművek üzemeltetéséről, és azok esetleges felújításáról.

Nagyon magas műszaki tartalmú felújításra jelenleg 90 MFt értékben hozható példa.

Pontosabb, és a szükséges további adatok hiányában megtérülésre vonatkozó számszerű becslésbe bocsátkozni – az elvek fenti ismertetésén túl – nem érdemes, félrevezető lehet.

⁴² nettó értékek

8 Összefoglalás

8.1 A járművek szükségessége

A hazai keskenynyomközű vasutak – bár történetük során többször is élenjártak a műszaki újítások bevezetésében – jelenleg nagyon elhanyagolt, tervezett élettartamukat túlhaladott járművekkel üzemelnek. Ez nem csak üzembiztonsági, fenntarthatósági problémákat okoz, hanem a nyújtható szolgáltatások színvonalát is károsan befolyásolja, lehetetlenné teszi a szolgáltatások fejlesztését.

Ezek miatt több elképzelés született már a járműállomány korszerűsítésére, akár a mozdonyok megújításával, akár motorkocsik üzembe állításával, sőt, néhány egyszerűbb, elszigetelt próbálkozásra is sor került már, vagy éppen jelenleg vannak járművek (át)építés alatt.

Szükség lenne azonban egy nagyobb sorozatban építhető motorkocsi típusra, mely cél már a turisztikáért felelős minisztérium kisvasutak fejlesztéséről szóló koncepciójában is helyet kapott. Egy ilyen jármű javasolható legfőbb paramétereit, illetve azok indokoltságát és megvalósíthatóságát mutatják be az előző fejezetek.

8.2 Követelmények a járművel szemben

A korábbiakban részletesen tárgyalt követelmények immár indoklás nélkül összefoglalva:

8.2.1 Szerelvény-összeállítás, méretek, terhelés

8.2.1.1 Szerelvény-összeállítás

A szerelvény-összeállítás két koncepció mentén alakítandó ki:

1. **a főképp turisztikai célú kisvasutak számára:** kétvezetőállásos motorkocsi, mely alkalmas további kocsik (mellékkocsik, vezérlőkocsi, hagyományos kocsik) szükség szerinti továbbítására
2. **a hivatásforgalmat szolgáló kisvasutak számára:** iker-motorkocsi, mely két egyvezetőállásos kocsiból áll, ami motor + vezérlőkocsiként oszlik meg, vagy elképzelhető a gépészeti berendezések megosztása is a két jármű között.

Mindkét esetben szükséges, hogy legalább 300 fős befogadóképességhez szükséges számú motorkocsi/ikerkocsi távvezérelhető legyen.

A szerelvényen alacsonypadlós tér (alacsonypadlós ajtó) kialakítása szükséges. Az első esetben az esélyegyenlőség biztosítása úgy is megoldható, hogy a vasút előzetes bejelentés után az arra alkalmas mellékkocsi (vezérlőkocsi) közlekedtetést biztosítja, míg a második esetben ez a tér mindenképpen az alap-szerelvény része.

8.2.1.2 Befogadóképesség

A minimális vonategységet jelentő motorkocsiban legalább 48 ülőhely + 18 állóhely legyen, de legyen összeállítható (távvezérelhető) 300 férőhelyes szerelvény is.

Ülő utasonként egy db 50 literes hátizsáknak legyen csomagtér.

A választott szerelvény-összeállítási megoldástól függően, állandóan vagy csak előzetes bejelentés nyomán, vonatonként legalább 2 kerekesszéknek és 5 kerékpárnak Szükséges helyet fenntartani.

8.2.1.3 Szerkesztési szelvény

A jármű szerkesztési szelvénye feleljen meg az Országos Vasúti Szabályzat által 760 mm nyomtávolságú vasutakra előírt szerkesztési szelvénynek⁴³.

8.2.1.4 Padlómagasság

A járművek padlómagassága a szerelvény legalább egy ajtajánál tegye lehetővé az Országos Vasúti Szabályzat által minimálisan megkövetelt SK+300 mm magasságú peronokról vízszintesen történő belépést az utastérbe. Az utastérben ebben a magasságban legalább két kerekesszéknek megfelelő hely álljon rendelkezésre.

8.2.1.5 Tengelyterhelés

A jármű legnagyobb tengelyterhelése – utasokkal – 60 kN, a motorkocsi esetén 70 kN lehet.

8.2.2 Gépészeti jellemzők

8.2.2.1 Tömeggyártott elemek alkalmazása

A járműben alkalmazott alkatrészeknek és megoldásoknak a lehető legnagyobb mértékben elterjedt, szabványos megoldásoknak és alkatrészeknek kell lenniük. A jármű minél több egysége szükség esetén akár az eredetitől eltérő, de azonos funkciójú más egységre kicserélhető legyen.

Így különösen:

- a vasútüzemi műhelyben elvégezhető / elvégzendő javítások nem kívánhatnak speciális szerszámokat,
- a villamos segédberendezésekhez, vezérléshez 24 V feszültséget kell választani,
- a gépezeti berendezésekhez célszerű közúti gyakorlatban, autóbuszokban is alkalmazott motorokat választani.

A járművet az elemek gyors cserélhetőségére, és a kiszertelt egységek külön műhelyben történő javítására is tervezni kell.

⁴³ MSZ 8698:1952 [5]

8.2.2.2 Teljesítőképesség

Az üzemszerűen összeállítható motorvonatoknak (ide értve a hagyományos kocsik vontatásának esetét is) teljes utasterhelés mellett 45 % emelkedésben még képesnek kell lenniük legalább 30 km/h sebességgel való közlekedésre, síkvidéki pályán pedig legalább 60 km/h sebesség elérésére. Alacsonyabb sebességgel, de fel kell mennie a vonatoknak 60 % emelkedésen.

Fel kell készíteni a járművet arra, hogy alkalmas legyen 40-50% meredekségű pályán akár 40-60 perces folyamatos közlekedésre.

8.2.2.3 Gépezet

A motorkocsik összes tengelyének meghajtása szükséges. Célszerű a villamos hajtást előnyben részesíteni.

8.2.2.4 Fékberendezések

A járművet fel kell szerelni a szabványos vasúti légfékberendezésekkel, amely a hajtásrendszer lehetőségein belül súrlódásmentes, energia-visszanyeréses fékberendezéssel kiegészülhet.

A szerelvény állvatartására szükséges fékberendezés lehet rugóerőtárolós rögzítőfék, megfelelően gondoskodva arról, hogy hidegen vontatásnál a jármű energiaforrásai nélkül is feloldható legyen.

A fékek méretezésénél számításba kell venni, hogy a lejtős pályán közlekedve az folyamatosan fékhatást fejt ki (300 m szintkülönbség 40-60 perc alatt folyamatos fékhatással).

8.2.3 Belső terek, berendezések

8.2.3.1 Utastér

Az utastér feleljen meg a napjainkban elvárható kényelmi követelményeknek, és:

- az üléselrendezés a 4 személyes, szembefordított ülés csoportokon alapuljon;
- az egymás mellett ülések egy elemet képezzenek, ahol középre ülve is kényelmes az utazás;
- néhány ülés csoportban az üléstámla magassága érjen fejig, oldalsó támasztó füllel;
- az ülések, szerkezetek éles, kemény alkatrészeket a lehető legkevesebbet tartalmazzanak, ütközés esetén alkatrészek ne szakadjanak le, a járműszekrényvel együtt gyűrődjenek.

A csomagok elhelyezésére biztosított tér legyen a lehető legközelebb a csomag gazdájának ülőhelyéhez. A fej fölötti csomagtartón gondoskodni kell arról, hogy ütközések esetén ne zuhanjanak le, síléc, szánkó eleve ne is legyen ott elhelyezhető.

A kerékpárok, kerekesszékek és nagy csomagok elhelyezésére biztosított tér lehet azonos (egyidejű utazással nem kell számolni), közvetlenül a bejáróajtók mögötti, a peronokkal azonos magasságú padlófelületen. Rendeltetés szerű feltöltésük esetén a kerekesszék, kerékpár nem nyúlhat az utasok fel- és leszállása során használatos közlekedési útvonalakba.

A konkrét megrendelő vasútnak legyen lehetősége eltérő üléselrendezés, ülések kérésére.

8.2.3.2 Ajtók, ablakok

A bejáróajtók önműködők legyenek, mozdonyvezető által adott nyitási engedély / zárási parancs és csak első ajtó nyitás lehetőséggel, valamint idő- és sebességfüggő önműködő zárással. Az ajtókhoz leszállásjelző szükséges.

Az ajtóelrendezés tegye lehetővé a mozdonyvezető általi jegykiadást, de az ezen funkcióhoz szükséges ajtóknál nem követelmény a peronszintű (alacsony) padló. Az ikerkocsi megoldásnál a kocsik között átjáró szükséges.

Az oldalablakoknak a lehető legszélesebbnek kell lennie, műszakilag minimális szélességű ablakközi oszlopok alkalmazásával. Az ülések melletti ablakok teljesen lehúzhatók legyenek (de szükség szerint felhúzott állapotban lezárhatók), az utasokat kiesése ellen korlát védje. A vezetőállások hátfala átlátható legyen, az utasok számára biztosítva a kilátást előre. Ezt a kilátást kapcsolószekrények és más berendezések se korlátozzák.

8.2.3.3 Fűtés-szellőzés

A járművek utastere nem klimatizált, de legyenek kialakítva azok a terek és légcsatornák, amelyek klimatizálást a megrendelő egyedi kérésére, vagy utólagosan beépíthetővé teszik. A szellőzést elsősorban a 8.2.3.2 fejezetben említett ablak-nyithatóság biztosítsa.

Fűtéshez villamos fűtés alkalmazása célszerű 3x 400 V 50 Hz feszültséggel, külső (előfűtési) csatlakozással. Lejtős pályán haladáskor a fékezési energia hasznosítható legyen az utastér fűtésére.

8.2.3.4 Vezetőállás

A vezetőállást az utastértől elkülönített helyiségként kell kialakítani, de olyan elrendezésben és felszereltséggel, hogy onnan menetjegykiadás megvalósítható legyen. Egy második ülőhely elhelyezése (oktatás, ellenőrzés) szintén szükséges, onnan is biztosítva a jó kilátást.

A vezetőállás hátfala az utasok számára átlátható legyen.

8.2.4 Egyéb berendezések

8.2.4.1 Vonókészülék

A konkrét megrendelő vasút választásától függően önműködő, vagy a hagyományos nem önműködő központi ütköző-vonókészülék is legyen beépíthető.

Az önműködő vonókészülék a német területen elterjedt Scharfenberg olyan változata legyen, mely össze- és szétkapcsolásra egyaránt önműködő, és elvégzi valamennyi alkatrész (villamos és levegős csatlakozások) kapcsolását. Önmagában, kiegészítő biztonsági kapcsolatok nélkül kell megfelelő biztonságot nyújtania maximális emelkedés mellett is.

Szükséges tartozékként olyan közdarab, mellyel teljes értékűen összekapcsolható a hagyományos vonókészülékkel is.

8.2.4.2 Vezérlés

A vezérlőrendszer egyszerű vezetéstechnikát tegyen lehetővé, a járművezető tevékenységnek nagyfokú felügyeletével. A vezérlőrendszer a járművezetőt segítse, de ne döntsön helyette.

- a vezetőállás üzembe helyezése (szükséges üzemállapotok ki/bekapcsolása) gyors legyen;
- az üzemi menet/fék vezérlést lehetőleg egyetlen kezelőszerv valósítsa meg;
- a vonóerő/fékerő perdülés és csúszásmentes szabályozású legyen;
- gondoskodni kell a kiválasztott menetiránnyal ellentétes megindulás megakadályozásáról;
- hagyományos, szabványos vasúti fékberendezésű vontatott járművek fékezhetők legyenek;
- legyenek a vezetőasztalon szabad felületek további, vasútüzemi berendezések beépítésére.

A legnagyobb befogadóképességű szerelvényhez szükséges számú motorkocsinak távvezérelhetőnek, illetve vezérlőkocsiból vezethetőnek kell lennie.

8.2.4.3 Éberségi és vonatbefolyásoló berendezés

Éberségi berendezéssel a járművet el kell látni, amelynek – a hidegen vontatást kivéve – a fék feloldása után a mozdonyvezető jelenlétét és éberségét ellenőriznie kell, legkritikábban 60 másodpercenkénti beavatkozást kívánva.

8.2.4.4 Adatrögzítők

A járművet az előírások szerint el kell látni a közlekedésbiztonsági információkat tároló adatrögzítővel.

A rögzített adatokat a berendezésből szabványos, elterjedt adatátviteli eszközökkel ki kell tudni olvasni, és annak nyílt adatszerkezetűnek kell lennie.

8.2.4.5 Utastájékoztató

A járművet – a statikus szöveges hirdetésekhez kialakított felületen túl – fel kell szerelni hangos és vizuális utastájékoztató berendezéssel.

A megfelelő információk megjelenítését lehetőleg helymeghatározáson alapuló, automatikus berendezés vezérelje, a járművezető beavatkozási lehetőségével. Az információkat – az adatrögzítőkhöz hasonlóan – nyílt adatszerkezetben és elterjedt hangformátumokban kell tárolni, szabványos adatátviteli kapcsolatokon feltölthető formában.

8.2.4.6 Külső megjelenés

A jármű megjelenése legyen összhangban annak korszerű kivitelével. Színezése vegye figyelembe, hogy a fehér, zöld és színes évszakokban is jól kell kinéznie, továbbá az útátjáró használók számára mindig feltűnőnek is kell lennie.

9 Háttéranyagok, mellékletek

9.1 Rövidítések

ÁEV	Állami Erdei Vasút
áh	állóhely
EV	Erdei Vasút
fh	férőhely
GyV	gyermekvasút
LÁEV	Lillafüredi Állami Erdei Vasút
OEE	Országos Erdészeti Egyesület
OVSZ	Országos Vasúti Szabályzat
ÖTM	Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium
MEOSZ	Mozgáskorlátozottak Egyesületeinek Országos Szövetsége
SK	sínkorona (elsősorban a sínkoronaszint, mint magassági bázisfelület értelemben)
üh	ülőhely

9.2 Irodalom

Szabályzatok, előírások

1. Jelzési, Forgalmi és Gépészeti Utasítás az erdei vasutak számára, 2004.
2. Országos Vasúti Szabályzat, kisvasutak tekintetében érdekelt, C.5. sz. kötete (készülő jogszabály tervezete)
3. A kisvasutak üzemeltetési szabályzata (készülő jogszabály tervezete)
4. D.56. sz. Építési és pályafenntartási műszaki adatok, Közlekedési Dokumentációs Vállalat, Budapest, 1962.
5. Magyar Szabványügyi Testület, <http://www.mszt.hu>

Vasutak adatai

6. Szob-Márianosztra kisvasút újjáépítése, megvalósulási terv, Montavia kft., Budapest, 2008.
7. Szob-Nagybörzsöny Erdei Kisvasút, II. Márianosztra-Nagyirtás vonalrész engedélyezési terv, Vízkeleti Ferenc, 1999.

8. Szob-Nagybörzsöny keskeny nyomtávú vasútvonal felújítása III. szakasz Nagyirtás-Nagybörzsöny, engedélyezési terv, Vízkeleti Ferenc, 1996.
9. Db.-Fatelep-Nyírbéltek vonal kézihossz-szelvénye, MÁV Debreceni Osztálymérnöksége, Debrecen, ismeretlen év

Közlekedésbiztonság

10. A Közlekedésbiztonsági Szervezet VFO/591 (2008) sz. tájékoztatása az Európai Vasúti Ügynökség részére, vasúti balesetekről
11. Zárójelentés, 2008-446-5 Súlyos vasúti baleset, Monorierdő, 2008. október 6.; Közlekedésbiztonsági Szervezet, Budapest, 2009. július 10.

Saját publikációk

12. Chikán Gábor, Diplomaterv, BME Közlekedésmérnöki Kar, 1998.
13. Magyarországon működő kisvasutak helyzetének elemzése, fejlesztésük lehetőségei, fenntartható működésük; Az Önkormányzati és Területfejlesztési Minisztérium megbízásából: F & B Consulting Bt. és Xellum Kft. 2008. szeptember
14. Kisvasutak járműveinek adatbázisa (Kisvasutak Baráti Köre Egyesület, <http://kisvasut.hu/jarmulista/>)
15. Saját fényképek, részben a <http://kisvasut.hu> oldalon is publikálva

Egyéb

16. Villányi György: Egy évszázad motorkocsi üzem a kisvasutakon, Vasúthistória Évkönyv, MÁV Rt. Vezérgazgatóság, 2002.
17. Balogh Imre (MÁV Zrt. Balatonfenyvesi GV üzemvezető) vasúttörténeti kutató közlései személyesen és a Kisvasutak Baráti Köre Egyesület belső szakmai fórumán keresztül
18. Szakály József, a Mozgáskorlátozottak Egyesületeinek Országos Szövetsége (MEOSZ) főtitkárától kapott tájékoztatás

9.3 Számítástechnikai háttér

A dolgozat több olyan számítási feladatot is tartalmaz, melyek nagyszámú adat feldolgozását jelentik, illetve a közlekedés szimulációja esetén numerikus módszerekkel történő differenciálegyenlet-megoldást.

Ezek kisebb részben táblázatkezelő használatával lettek megoldva, nagyobb részben pedig PHP programnyelvben egyedileg írt programokkal.

A PHP eredeti célja ugyan weboldalak adatbázis-alapú megjelenítésének támogatása, ennek ellenére jól használható a szükséges matematikai számításokhoz is. A választás oka az e programnyelvben korábban – más feladatokon keresztül – szerzett gyakorlat.

A számítások a <http://chikang.pizolit.hu/szakmernoki> weboldalon futtathatók.

9.4 CD melléklet

A CD melléklet az alábbiakat tartalmazza:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| 1. diplomaterv.doc
diplomaterv.pdf | ezen diplomaterv elektronikusan |
| 2. /php/*.* | a számításokat végrehajtó php programok forráskódja |
| 3. /szamitas/forgalom_kr.xls | forgalmi számítások a Királyréti EV vonalán a 7.1.2 fejezethez |
| 4. /szamitas/megbizhatosag.xls | megbízhatósági számítások a 6.3.3 fejezethez |
| 5. /szamitas/teljesitmeny.xls | fajlagos teljesítmény becslése a 4.2.2 fejezethez |
| 6. /szamitas/tomeg.xls | tömeg becslése a 4.1.6.1 fejezethez |
| 7. /utas/*.xls | Vonatszintű utasforgalmi adatok (közülük a Királyréti EV adatait szerepelnek a számításokban) |

9.5 Meghibásodásból eredő károk becslése

A táblázat a 6.3.3.1 fejezethez tartozik, a benne foglalt számítás levezetése ott található.

11. táblázat: tartalék járművet indokló vagy elvető számítás

Forgalmi adatok		
csúcsüzem	r	30 %
járművek száma csúcsüzemben	n	2 db
egy szerelvény futásteljesítménye	v	84 km/nap
utasszám	U	80 000 fő/év
átlagos menetdíj	m	300 Ft
Jármű meghibásodása, javítása		
javítás várható időtartama	t_{jav}	1 nap
javítás esetén várható kiesés	$S_{ki} = v t_{jav}$	84 km
meghibásodás várható gyakorisága	S_{hib}	50 000 km
meghibásodás várható időköze	$t_{hib} = S_{hib} / v$	595 nap
Forgalmi zavar		
javítási rendszer forgalmi intenzitása	$\Psi = n t_{jav} / t_{hib}$	0,0034
forgalmi zavar esélye, ha nincs tartalék	$q_0 = \Psi$	0,34 %
forgalmi zavar esélye 1 db tartaléknál	$q_1 = \Psi^2$	$1,13 \times 10^{-3}$ %
forgalmi zavar tényleges esélye	$Q = r q_0 + (1-r) q_1$	0,10 %
forgalmi zavar esélye, ha mindig 1 db tartalék lenne	$Q_1 = q_1$	$1,13 \times 10^{-3}$ %
Következmények		
zavarban érintett utasszám	$u = UQ$	80 fő/év
zavarban érintett utasszám, ha mindig lenne 1 db tartalék	$u_1 = UQ_1$	1 fő/év
egy érintett utasból eredő elmaradó menetdíj	$M = 60m$	18 eFt
várható kár	$K = uM$	1440 eFt/év
várható kár, ha mindig lenne tartalék	$K_1 = u_1M$	16 eFt/év
Kárcsökkenés tartalék jármű által	$\Delta K = K - K_1$	1424 eFt/év

9.6 A kisvasutak áttekintő adatai

12. táblázat: a kisvasutak áttekintő táblázata

Vasút	Hossz	Funkció	Teljesít- mény ⁴⁴	Megjegyzés
<i>Erdei vasutak</i>				
Pálháza	10 km	turisztika	kicsi	
Lillafüred	25 km	turisztika	nagy	
Szilvásvárad	4 km	turisztika	nagy	
Felsőtárkány	5 km	turisztika	kicsi	
Gyöngyös	21 km	turisztika	nagy	
Királyrét	10 km	turisztika	nagy	
Szob	7 km	turisztika	kicsi	
Nagybörzsöny	8 km	turisztika	kicsi	
Gemenc	31 km	turisztika, fa		10 km-en üzemszünet
Almamellék	7 km	turisztika	kicsi	
Mesztegyő	9 km	turisztika	kicsi	menetrendi üzemszünet
Kaszó	8 km	turisztika	kicsi	menetrendi üzemszünet
Csömödér	99 km	fa, turisztika	kicsi	67 km csak teherforgalom
Kemence	4 km	turisztika	kicsi	
Debrecen	17 km	turisztika	nagy	
<i>Gazdasági vasutak</i>				
Balatonfenyves	14 km	hiv.forg., turisztika	kicsi	
<i>További vasutak</i>				
Hortobágy	4 km	turisztika, halászat	kicsi	
Budapest, GyV	12 km	turisztika	nagy	
Nagycenk	5 km	turisztika	kicsi	
Debrecen	1 km	turisztika	kicsi	vidámparkban
Tizsakécske	1 km	turisztika	kicsi	nem üzemel
Pécs	1 km	turisztika	kicsi	
<i>Nem üzemelő közcélú vasutak</i>				
Nyíregyháza	66 km	hivatásforgalom	nagy	nem üzemel
Kecskemét	98 km	hivatásforgalom	nagy	nem üzemel

⁴⁴ az 1.1 fejezet besorolása szerint